

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ –
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA**

Fakulta strojní

Katedra výrobních strojů a konstruování

**Aplikace diagnostického systému eFLINK
s komponenty B+R**

**Application of the eFLINK Diagnostic System
with Components B+R**

Autor:

Eliška Nováková

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Eliška Nováková**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování
Téma: Aplikace diagnostického systému eFLINK s komponenty B+R
Application of the eFLINK Diagnostic System with Components B+R
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

V rámci objektivizace technického stavu strojních zařízení vhodně aplikujte metody technické diagnostiky za pomoci on-line systémů pro nepřetržité sledování technického stavu.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1.vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibračních strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

FS_SME_05_003 verze: G *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 21.5.2018




podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO. bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21.5.2018


.....

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych ráda poděkovala všem, kteří byť jen malou radou přispěli ke vzniku této bakalářské práce. Především firmě DIF s.r.o. za odborné vedení, cenné informace, trpělivost a pomoc při měření. V neposlední řadě také vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za pomoc při zpracování dat. Největší dík bych chtěla vyjádřit své rodině za jejich podporu nejen při studiu.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

NOVÁKOVÁ, E. *Aplikace diagnostického systému eFLINK s komponenty B+R*. Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB - Technická universita Ostrava, 2018, 80 s. Bakalářská práce, vedoucí práce: Blata, J.

Bakalářská práce se zabývá aplikací online systému eFLINK na hlavních důlních ventilátorech společnosti OKD. V úvodní části práce je stručně popsána teorie technické diagnostiky s přímou vazbou k vibrodiagnostice. Další kapitoly se zabývají monitorováním a vyhodnocováním sledovaných parametrů, dále strukturou systému, jeho provozem a vlastnostmi. Následující část práce se věnuje praktickému měření a zpracování dat. V závěru uvádím porovnání dat z online systému a externího měření s výsledným posouzením aplikace online systému.

Klíčová slova: online systém, diagnostika, charakteristické hodnoty, hlavní důlní ventilátor, ložisko.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

NOVÁKOVÁ, E. *Application of the eFLINK Diagnostic System with Components B+R*.

Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB – Technical university of Ostrava, 2018, 80 p. Bachelor thesis, Thesis head: Blata, J.

The bachelor thesis deals with the application of the online eFLINK system on OKD main mining fans. In the introductory part of the thesis is briefly described the theory of technical diagnostics with direct relation to vibrodiagnostics. The next chapters deal with the monitoring and evaluation of monitored parameters, the structure of the system, its operation and its features. The following part deals with the practical measurement and processing of data. Finally, I compare data from the online system and external measurement with the final assessment of the online system application.

Keywords: online system, diagnostics, characteristic values, main mining fan, bearing.

Obsah

1	ZÁKLADNÍ POJMY VIBRODIAGNOSTIKY	2
1.1	Co je to kmitání.....	2
1.2	Typy vibrodiagnostiky	4
1.3	Typy údržby	5
1.4	Rozbor závad strojů	6
1.4.1	Druhy závad	7
1.4.2	Kritéria hodnocení vibrací	10
1.5	Základní rozdělení vibračních snímačů.....	11
1.5.1	Požadavky důležité pro volbu absolutního snímače vibrací	12
1.5.2	Zásadní rozdělení z hlediska frekvence	12
1.5.3	Druhy snímačů	13
1.5.4	Akcelerometry	13
1.6	Klasifikace signálu a jeho zpracování	13
1.6.1	Dělní vibračního signálu	14
1.6.2	Vzorkování a kvantování	14
1.6.3	Převodníky	15
1.6.4	Časová okna	15
1.6.5	Obálková metoda	16
1.6.6	FFT – Rychlá Fourierova transformace.....	17

2	MONITOROVÁNÍ	18
2.1	Popis diagnostického systému eFLINK B+R	18
2.1.1	Snímače	19
2.1.2	Měřicí ústředna	20
2.1.3	Komunikace	20
2.1.4	Aplikace a provoz systému eFLINK	21
2.1.5	Struktura	26
2.2	Diagnostika systému eFLINK.....	29
2.2.1	Generace signálu a konfigurace filtru	29
2.2.2	Frekvenční pásma.....	32
2.2.3	Základní popis charakteristických hodnot	32
3	MĚŘENÍ.....	38
3.1	Měřený stroj.....	38
3.2	Měření a vyhodnocení vibrodiagnostiky	40
3.2.1	Měření a vyhodnocení ložisek motoru.....	41
3.2.2	Měření a vyhodnocení ložisek ventilátoru	44
4	OVĚŘENÍ SPRÁVNÉ FUNKČNOSTI ONLINE SYSTÉMU	49
4.1	Porovnání prvního měření	49
4.2	Porovnání druhého měření.....	50
4.3	Závěr porovnání metody online a pochůzky.....	51
5	ZÁVĚR.....	52
6	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
7	SEZNAM PŘÍLOH	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratky:

ČSA	Československá armáda
ČSN	Česká (Československá) státní norma
DZ	Důlní závod
FFT	Fast Fourier transform
H-FFT	Obálka FFT
HDV	Hlavní důlní ventilátor
IEPE	Integrated Electronics Piezo-Electric
ISO	International Organization for Standardization
RMS	Efektivní hodnota
OKD	Ostravsko-karvinské doly
OPC	Open Platform Communications
PLC	Programmable Logic Controlle
TPM	Total productivity maintaince

Symboly:

a	zrychlení	[mg, G, $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
Bd	průměr valivého elementu	[mm]
d	vnitřní průměr ložiska	[mm]
D	vnější průměr ložiska	[mm]
f_{BPI}	poruchová frekvence vnitřního kroužku	[Hz]
f_{BFO}	poruchová frekvence vnějšího kroužku	[Hz]
f_{BSF}	poruchová frekvence valivého tělíska	[Hz]
f_{FTF}	poruchová frekvence klece	[Hz]
Pd	průměr roztečné kružnice	[mm]
RPM	otáčky hřídele	[1/min]
t	čas	[s]
T	perioda	[s]
v	rychlost	[$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$]
y	výchylka vibrací	[mm]
φ	dotykový úhel	[rad, °]

ÚVOD

Technická diagnostika je jedním z nástrojů pro zajištění optimalizace výrobního postupu. Vzhledem k rostoucím nárokům na produkci a jakost výroby je cílem každého procesu údržby z progresivního a nenáročného hlediska udržovat výrobní zařízení v technicky dobrém a provozuschopném stavu, za účelem dosažení optimálních nákladů.

Docílit optimální prediktivní údržby je věc nelehká a z tohoto hlediska se svou složitostí ne vždy plně využívá, a to jak v českých, tak i zahraničních závodech. Nutno ovšem podotknout, že nejen v případě zajištění nejvyšší možné spolehlivosti, funkčnosti a způsobilosti provozu, ale i v situaci ohrožení lidského života, je tento proces takřka klíčový.

Takzvaná „vzdálená vibrační diagnostika“, jejíž aktuálnost vyhodnocení je nejsilnějším argumentem pro nasazení do technologického procesu, poskytuje komfort pro podniky bez diagnostického pracoviště, s omezeným počtem kvalifikovaných pracovníků či s nepřetržitým provozem, kdy celá existence výrobního závodu stojí právě na těchto sledovaných strojních zařízeních.

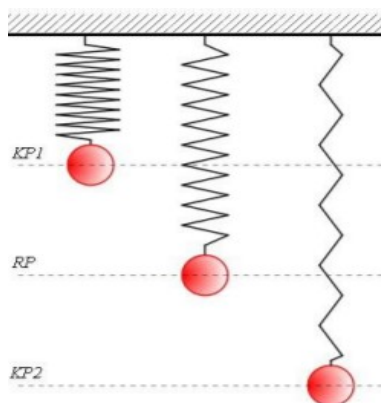
Diagnostický systém eFLINK s komponenty B+R nabízí schopnosti on-line diagnostiky (monitorování) s možností připojení externího přístroje - off-line diagnostiky (pochůzky). Poskytuje uživatelsky výhodné prostředí zejména pro obsluhu bez odborných znalostí. Monitoruje hladiny vibrací s primárním zaměřením na parametrickou diagnostiku s vyhodnocovacím principem na základě tzv. charakteristických hodnot a frekvenčních pásem.

1 ZÁKLADNÍ POJMY VIBRODIAGNOSTIKY

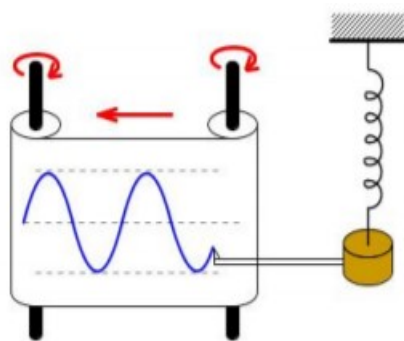
Vibrodiagnostika jakožto nejpoužívanější metoda technické diagnostiky zahrnuje kvantum informací a pojmů. Pokusím se proto zredukovat text a cíleně se zaměřit na bezpodmínečně nutné údaje.

1.1 Co je to kmitání?

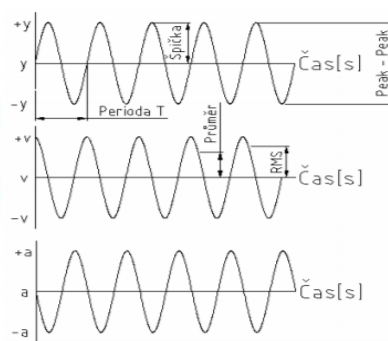
Mechanické kmitání je úzce spjato s dynamickými jevy a s technickým stavem dílčích složek mechanismu. Jedná se o pohyb hmotného bodu z jedné krajní polohy (KP1) do druhé (KP2) a zpět kolem klidové rovnovážné polohy, která je podmíněna nulovou hodnotou účinkujících sil.



Obr. 1 Krajní polohy hmotného bodu



Obr. 2 Trajektorie hmoty [2]



Obr. 3 Princip a parametry vibrací [3]

T	perioda kmitání	$(T = \frac{1}{f})$	
Peak	(špička) maximální výchylka		
Peak-Peak	(špička-špička) maximální rozkmit vlny	$(2 \cdot \text{peak})$	(1)
Průměr	střední hodnota		
RMS	efektivní hodnota	$(0,707 \cdot \text{peak})$	

S přímou vazbou k technickým komponentům mluvíme například o hřídeli, ložisku, převodovce, vačkovém mechanismu, klikovém ústrojí, nevyváženosti na rotujících dílech, vůli v kluzných ložiskách, opotřebení či únavě materiálu strojních součástí. Pojem kmitání můžeme použít se stejnou platností jako termín vibrace. [1]

Určující veličinu jako je výchylka, rychlost a zrychlení vibrací lze zapsat pomocí matematické vazby, díky čemuž jsme schopni navzájem určit jednotlivé hodnoty.

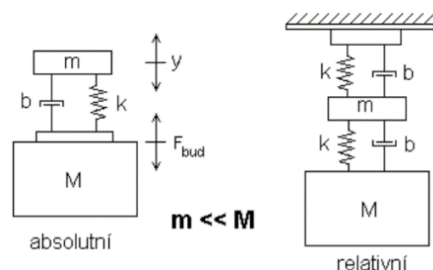
$$\begin{aligned}
 y &= \int v \, dt & [\mu\text{m}] \\
 v &= \frac{dy}{dt}, & v = \int a \, dt & [\text{m.s}^{-1}] \\
 a &= \frac{dv}{dt} & [\text{m.s}^{-2}, \text{g}]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Příčemž: y – výchylka vibrací, v – rychlost vibrací, a – zrychlení vibrací.

Kategorie vibrací u strojních částí rozdělujeme na absolutní a relativní. U absolutního kmitání stanovujeme pohyb tělesa vůči tzv. pevnému bodu (gravitační pole země). Relativní vibrace tělesa vyhodnocujeme vzhledem ke zvolenému reálnému bodu (jiná část stroje), který se rovněž může pohybovat. [1], [5]

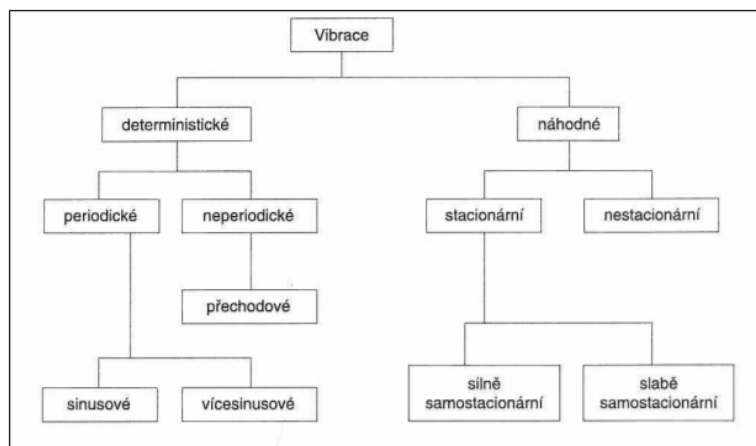
Dle těchto kategorií vibrací rozlišujeme:

- Senzory absolutní (seismické)
- Senzory relativní



Obr. 4 - Mechanický model absolutního a relativního snímače vibrací [6]

Další rozčlenění můžeme rozlišit dle časových změn veličin na dvě základní skupiny, a to deterministické a náhodné, jak je patrné z Obr. 5.



Obr. 5 - Rozdělení vibrací dle kategorií [4]

Deterministické vibrace jsou popsány matematickou funkcí, respektive jsme schopni předvídat jejich průběh. Rozdělujeme je na periodické (dále harmonické či neharmonické) a neperiodické (dále přechodové - tedy časově omezené).

Náhodné vibrace nejsme schopni vyjádřit žádnou funkcí. V praxi používáme pro jejich popis pravděpodobnost. Dělíme je na stacionární a nestacionární. Velikost výchylky u stacionárních vibrací je v čase konstantní nebo se mění jen velmi málo. U nestacionárních kmitů se velikost výchylky v čase prudce mění. [3]

1.2 Typy vibrodiagnostiky

Aplikace vibrodiagnostiky je závislá na požadované četnosti měření, odvíjející se např. od důležitosti určitého soustrojí pro konkrétní provoz v závislosti na typu zvolené údržby (preventivní, prediktivní, proaktivní). [7]

Periodické měření (strojní inspekce, obchůzky) je dáno pravidelnými prohlídkami (vizuálně, měřením vibrací apod.) danými důležitostmi měřeného zařízení. Tyto prohlídky provádí a zaznamenává provozní pracovník každodenní inspekci.

On-line monitorovací systém vyhodnocuje skutečný a aktuální obraz o technickém stavu daného zařízení. Sběr dat probíhá nepřetržitě. Mezi vznikem vady a poruchou (až

havárii) stroje často není výrazná časová prodleva. Při překročení stanovené hladiny vibrací dojde k odstavení stroje a následně jsme schopni odhalit příčinu havárie.

Off-line diagnostikou rozumíme přenosné měřicí systémy, jejichž aplikací nemusíme vždy zachytit vznik či průběh vady, a proto může dojít rovnou k jejímu projevu.

1.3 Typy údržby

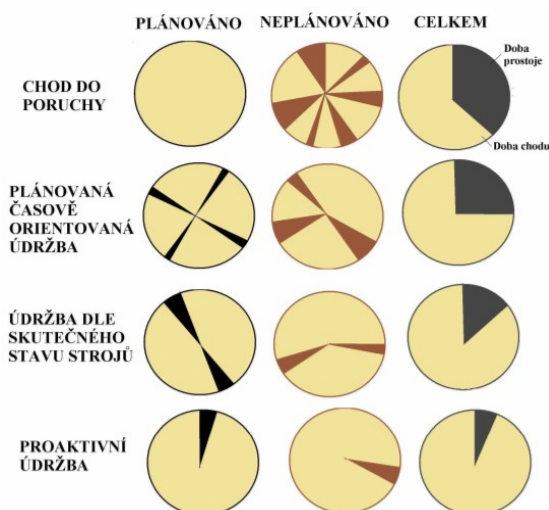
Na straně jedné údržba zajišťuje delší intervaly mezi odstávkami, odstraňuje následky opotřebení, tzn. zvyšuje životnost a prodlužuje provozní spolehlivost apod. Na straně druhé spotřebovává finanční prostředky, zabírá produktivní čas a další. [7]

Systém údržby je možné rozdělit podle mnoha hledisek. Z důvodů omezeného rozsahu uvádím jen ty nejzákladnější: [7]

- Z hlediska strategie údržby:
 - **PREVENTIVNOST** - předchází poruchovým stavům, založená na pravidelné časové periodě bez ohledu na skutečný technický stav stroj.
 - **PROAKTIVNOST** - hledání a odstranění příčin poruchy na základě zkušeností.
 - **PREDIKTIVNOST** – predikce = předpověď, předpovídá vývoj stavu udržovaného zařízení, získává co nejvíce informací o zařízení, včas odhalí poruchu, opravu dané části provede dřív, než dojde k poškození.
- Z hlediska obsahu:
 - **Autonomní údržba** – udržování stroje - základní mazání, čištění a ošetřování.
 - **Opravy** – obnovení požadovaného stavu, odstraňuje následky opotřebení.
 - **Kontrolně inspekční a revizní činnost** - odborné revize, využití technické diagnostiky, prohlídky vyhrazených technických zařízení.
- Z hlediska vývoje:
 - **Oprava po poruše**
 - **Metoda plánovaných a preventivních oprav**
 - **Systém diferencované proporcionální péče**

- *Systém diagnostické údržby*
- *Systém prognostické údržby*
- *Systém automatizované údržby*
- *Systém totálně produktivní údržby (TPM)*- maximalizace celkového výkonu a účinnosti zařízení. Zdokonalování stávající koncepce. Rozvoj autonomní údržby.

Vztah mezi údržbou, dobou chodu a prostoji u jednotlivých typů údržby znázorňuje Obr. 6



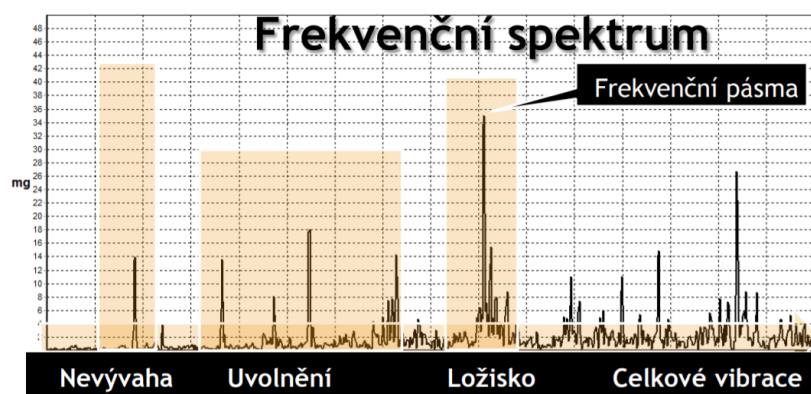
Obr. 6 Vztah typu údržby a doby prostojů [3]

1.4 Rozbor závad strojů

Vzhledem k rozsáhlosti dané problematiky odkazují na citovanou literaturu [15 - Berryho tabulky], ve kterých jsou popsány základní poruchy spolu s ukázkou jejich odpovídajících spekter. Následující popis vybraných okruhů je proto velmi stručný.

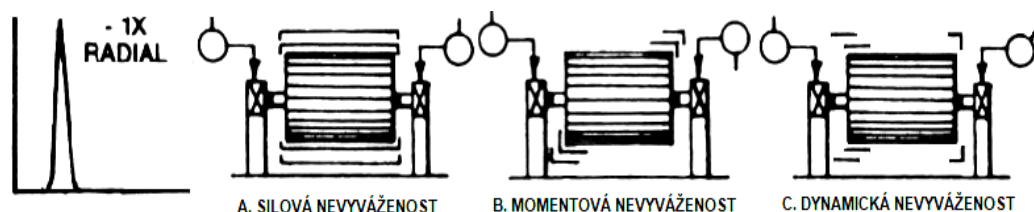
1.4.1 Druhy závad

Obr. 7 znázorňuje FFT spektrum (podkapitola 1.6.6) s frekvenční oblastí. Každá závada se projevuje na své specifické frekvenci. U nízkých frekvencí též nazývaných jako mohutnost vibrací detekujeme mechanické závady jako je nevývaha, nesouosost a další. Zatímco na vysokých frekvencích se projevují závady ložisek a ozubených kol (podrobněji popsáno v podkapitole 1.5.2).



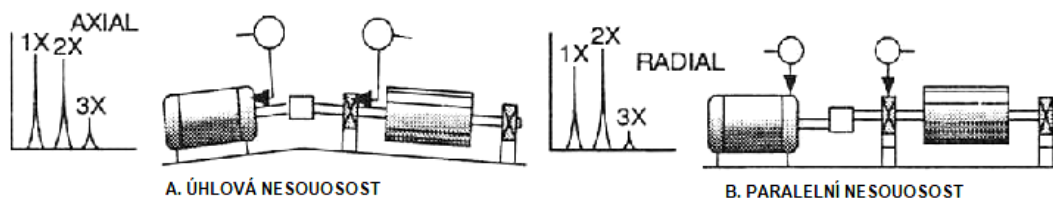
Obr. 7 - Příklad sledovaných parametrů [3]

NEVÝVAHA – Mezi nejčastější typy patří dynamická nevyváženost, ta je kombinací statické a momentové nevyváženosti. Dále ji rozdělujeme podle centrální osy setrvačnosti a osy rotace.



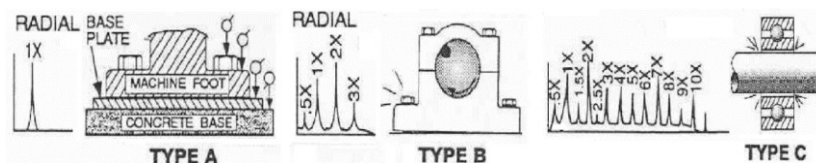
Obr. 8 – Nevývaha

NESOUOSOST – Rozeznáváme úhlovou či paralelní (posunutí) nesouosost. [14]



Obr. 9 – Nesouosost

UVOLNĚNÍ – Může zapříčinit strukturní uvolnění (měkkost) základu - TYP A. Uvolněné šrouby nebo trhliny v rámu – TYP B. Nesprávné lícování mezi komponenty, uvolnění ložiskového pouzdra ve víku, nadměrná vůle – TYP C. [14]



Obr. 10 – Uvolnění

LOŽISKA – Při analýze ložisek soustředíme pozornost především na poruchové frekvence ložiska. Můžeme je najít v katalogu nebo je vypočítat pomocí následujících vzorců: [14]

Poruchová frekvence vnitřního kroužku BPFI:

$$f_{BPFI} = \frac{n}{2} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad (3)$$

Poruchová frekvence vnějšího kroužku BPFO:

$$f_{BPFO} = \frac{n}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad (4)$$

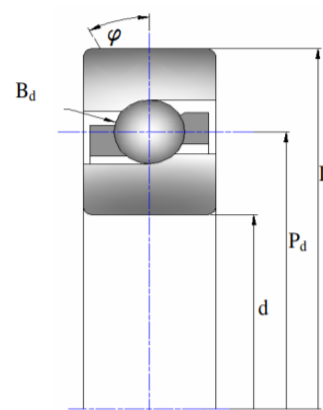
Poruchová frekvence valivého tělíska BSF:

$$f_{BSF} = \frac{P_d}{2 \cdot B_d} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right)^2 \right] \cdot \frac{RPM}{60} \quad (5)$$

Poruchová frekvence klece FTF:

$$f_{FTF} = \frac{1}{2} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \varphi \right) \cdot \frac{RPM}{60} \quad (6)$$

n	–	počet elementů
P_d	–	průměr roztečné kružnice
B_d	–	průměr valivého elementu
D	–	průměr díry
RPM	–	otáčky hřídele [1/min]
φ	–	dotkový úhel



Obr. 11 - Rozměry pro výpočet poruchové frekvence [3]

Vývoj poškození ložiska až k jeho postupné degradaci je znázorněný na Obr. 12 na str. 10. Z pravidla ho můžeme rozdělit do čtyř stupňů poškození.

STUPEŇ 1: *Nepoškozené ložisko*

- Oběžná dráha valivého elementu je nepoškozená.
- FFT ani H-FFT (obálka FFT) nejeví žádné známky poruchových frekvencí.
- a_{peak} (špičkové zrychlení) dosahuje TEACH-IN hodnoty.

STUPEŇ 2: *Vznik opotřebení ložiska*

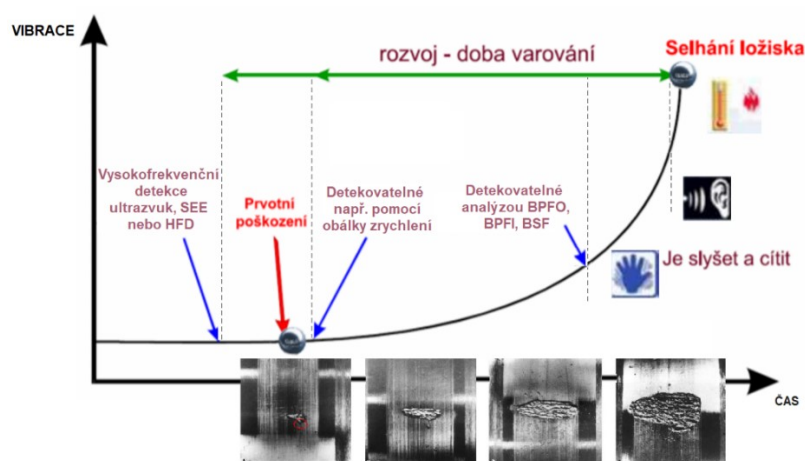
- Oběžná dráha valivého elementu projevuje mírné opotřebení.
- FFT nejeví žádné známky poruchových frekvencí, zatímco H-FFT zahrnuje zvýšené hodnoty těchto frekvencí bez harmonických a subharmonických složek.
- a_{peak} dosahuje jen velmi nízkých hodnot.

STUPEŇ 3: *Rozšířené opotřebení ložiska*

- Viditelně poškozená oběžná dráha valivého elementu
- V FFT se začínají vyskytovat poruchové frekvence, H-FFT zahrnuje zvýšené hodnoty těchto frekvencí bez harmonických a subharmonických složek.
- a_{peak} obsahuje hodnoty se značnými výchyly.

STUPEŇ 4: *Pokročilé opotřebení ložiska*

- Oběžná dráha je značně poškozena. Znamky poškození vykazuje i valivé tělísko a vnitřní i vnější kroužek.
- FFT ukazuje zvýšené hodnoty poruchových frekvencí s jejich harmonickými složkami, u H-FFT navíc i složky subharmonické.
- a_{peak} obsahuje hodnoty s vysokými výchyly. Poškození je rozpoznatelné na dotek i na poslech.



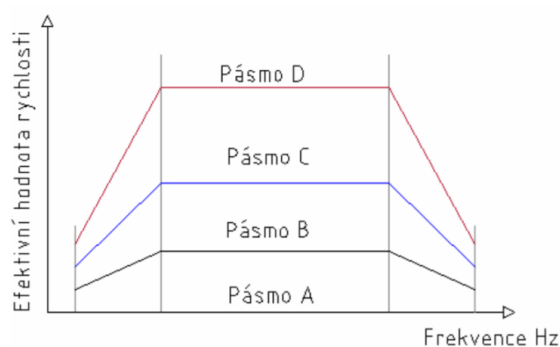
Obr. 12 - Vývoj poškození ložiska a metody k jeho detekci

1.4.2 Kritéria hodnocení vibrací

Hodnocení můžeme rozdělit do dvou následujících kritérií. Obecná vyhodnocovací kritéria popisuje norma ČSN ISO 10816-1(011412).

Kritérium z hlediska velikosti vibrací - Zjišťujeme mohutnost vibrací (nejvyšší naměřenou hodnotu) a řadíme ji do předem definované meze vibrací stroje dle Obr. 13. [16]

- A** - Stav nového stroje.
- B** - Stav dovoleného provozu stroje bez omezení.
- C** - Stav přípustného krátkodobého provozu do doby nejbližší možné opravy.
- D** - Stav možného rizika havárie. Je vhodná okamžitá odstávka strojního zařízení.



Obr. 13 - Obecný průběh kritérií přípustnosti rychlosti vibrací [16]

Kritérium z hlediska změny velikosti vibrací - Jedná se o sledování změny vibrací vůči referenční hodnotě vibrací (Obr.14). Změna může být postupná či okamžitá, bez ohledu na to, jestli dojde k poklesu nebo přírůstku. [16]

Třída 1 – Malé stroje s výkonem do 15kW za standardních podmínek provozu.

Třída 2 – Středně velké stroje s výkonem 15kW až 75kW bez specifických základů, dále stroje stabilně upevněné na zvláštních základech až do 300kW.

Třída 3 – Velké stroje s výkonem nad 75kW na pevných a těžkých základech, jenž jsou ve směru měření vibrací poměrně tuhé.

Třída 4 – Velké stroje s výkonem nad 75kW na měkkých základech (např. turbogenerátory a plynové turbíny s výkonem až 10MW).

Efektivní hodnota rychlosti vibrací mm/s	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
26				
45				

Obr 14. - Typické hranice pásem [16]

1.5 Základní rozdělení vibračních snímačů

Snímač, tedy zařízení pro sběr informací, využíváme ke snímání mechanického pohybu. Výstupní signál naměřených hodnot by měl co nejspolehlivěji odpovídat průběhu mechanického kmitání, což není úkol snadný a vzhledem k této složitosti a omezenému rozsahu bakalářské práce, uvedu nejzákladnější údaje s přímou vazbou k této práci.

1.5.1 Požadavky důležité pro volbu absolutního snímače vibrací

U snímače vibrací je za potřebí být obeznámen s pojmy jako: [12]

Citlivost snímače: Jedná se o poměr výstupního napětí ku zrychlení. Nejčastěji používané 100mV/g.

Dynamický rozsah snímače: Horní mez je stanovena mechanickou pevností, tedy do stádia, kdy se snímač poškodí. Dolní mez je určena šumem elektrických obvodů.

Frekvenční rozsah snímače: Horní hranice je stanovena vlastní frekvencí snímače. Dolní mez je vytyčena frekvencí použitého předzesilovače.

Rezonanční kmitočet: Zřetelně vyšší než horní mezní kmitočet měření (min 5 x).

Hmotnost: Výrazně nižší než hmotnost zkoumané soustavy (min 10 x, včetně úchytu).

1.5.2 Zásadní rozdělení z hlediska frekvence

Existují dvě skupiny vibrací, které bychom měli na zařízení pravidelně sledovat. [9]

Nízkofrekvenční vibrace - detekují celkový stav stroje. Zjišťuje veškeré mechanické závady související s otáčkami jako je nesouosost, nevyváženost nebo mechanické uvolnění. Obvykle měříme jejich rychlost (mm/s) ve frekvenčním rozsahu 10 - 1000 Hz. Tuto energii vibrací nazýváme „*mohutnost vibrací*“.

Vysokofrekvenční vibrace - obecně vibrace nad 1000 Hz. Tyto vibrace hodnotíme pomocí zrychlení nejčastěji v „g“ jednotkách. V dané oblasti se objevují frekvence záběru ozubených kol v převodovkách, energie valivých ložisek např. při nadměrném zatížení nebo porušení mazacího filmu, vibrace způsobené špatnou regulací asynchronních motorů a další. Existují speciální metody pro diagnostiku ložisek např. HFD (high frequency density) v oblasti 25000 – 35000 Hz.

1.5.3 Druhy snímačů

Dle měřené veličiny lze snímače rozdělit na: [7]

Snímače výchylky – tzv. dotykové sondy, fungující na principu vířivých proudů v magnetickém poli. Vynikají zpravidla vysokou hmotností oproti nízké tuhosti a tlumení. Nevýhodou je citlivost v prostředí magnetického pole.

Snímače rychlosti – snímá absolutní vibrace, které vytváří napěťový signál přímo úměrný mechanické vibrační rychlosti tělesa. Pracuje na principu cívky kmitající vlivem vibrací v poli permanentního magnetu. Svou konstrukcí jsou složitější a mají větší hmotnost. Omezení horního kmitočtu dosahuje až na 3 kHz.

Snímače zrychlení – akcelerometry

1.5.4 Akcelerometry

Nejužívanější snímače disponující libovolným výstupem měřených veličin, a to jak zrychlením, tak i rychlostí a výchylkou vibrací. Akcelerometr využívá piezoelektrický krystal, který při deformaci (natažení nebo stlačení) vytváří elektrický náboj odpovídající mechanickému vibračnímu zrychlení stroje [10]. Tento náboj je však velice slabý, proto používáme předzesilovače, který dosáhne i při malém zrychlení vysokých elektrických signálů. [3]

Podle umístění piezoelektrického krystalu a seismické hmoty ve snímači rozeznáváme tři druhy akcelerometrů - tlakový, ohybový a smykový.

1.6 Klasifikace signálu a jeho zpracování

Vibračním signálem a jeho zpracováním se zabývá norma ČSN ISO 18431-1. Obsahem normy jsou upravené definice matematických transformací vibrací a rázů do formy, která je vhodná pro jejich vyhodnocování a porovnávání. [3]

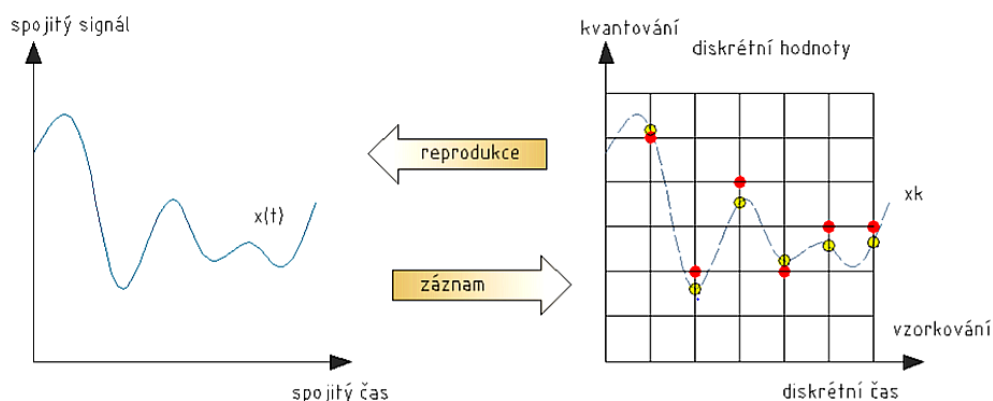
1.6.1 Dělení vibračního signálu

Nejčastější rozdělení vibračního signálu je z hlediska náhodnosti jeho průběhu a je téměř stejný jako členění vibrací dle časových změn, který již byl blíže popsán v kapitole 1.1 na str. 4.

Poznámka: V praxi se setkáváme s kombinací signálů spolu s náhodným šumem. Rozlišujeme je na bílý šum (*white noise*), který se rozvíjí v pásmu měření rovnoměrně a růžový šum s nerovnoměrným výskytem v pásmu měření. [3]

1.6.2 Vzorkování a kvantování

Během reálného měření zaznamenáváme analogové signály, jež jsou v čase spojité a mohou nabývat nekonečného počtu hodnot. Z hlediska omezené kapacity paměti počítače využíváme tzv. vzorkování a kvantování.



Obr. 15 - Vzorkování a kvantování [3]

Celý proces vykazuje ztrátu detailů a určitou nepřesnost znázorněnou na Obr. 15. (Původní hodnoty jsou žluté a zaokrouhlené hodnoty červené). Rozdíl mezi původní a kvantovanou hodnotou nazýváme kvantizační šum, který aditivně přidáváme ke skutečným hodnotám signálu.

Poznámka: Nežádoucí jev, kdy dochází k nevratnému poškození signálu při vzorkování nazýváme aliasing. Pomocí tzv. antialiasingového filtru, který zařadíme před A/D převodník, lze tomuto problému předejít. [3]

1.6.3 Převodníky

Převodník umožňuje převod mezi analogovým a digitálním signálem. Při jeho volbě sledujeme parametry jako:

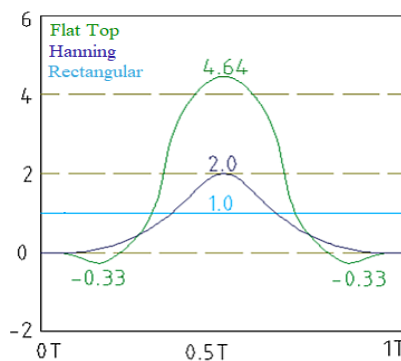
1. Vstupní signál
2. Vzorkovací frekvence
3. Rozlišení (počet bitů)
4. Rychlost vzorkování atd.

Čím vyšší počet bitů, tím vyšší rozlišení a přesnost převodu. Zvolíme-li počet bitů rovno m , na výstupu převodníku bude počet hodnot roven 2^m . Pro analyzátory signálů využíváme rozsahu 12-24 bitů. [3]

1.6.4 Časová okna

Časové okno koriguje tzv. úniky (rozmazání špiček ve frekvenční oblasti) vznikající nepřesnou reprezentací vzorku vyjmutého z časové vlny signálu. Mezi nejčastěji používaná okna patří: [10]

1. **Hanningovo okno** – nepoužívanější, nejsou známy informace o amplitudě, ani frekvenci složek. Účelem analýzy je zjistit tyto parametry.
2. **Flat Top okno** – používáme ke zjištění přesné amplitudy např. při kalibraci piezoelektrických akcelermetrů.
3. **Rectangular (obdélníkové) okno** – v případě spektra obsahujícího pouze složky základní frekvence (ta odpovídá frekvenční vzdálenosti mezi jednotlivými složkami spektra).

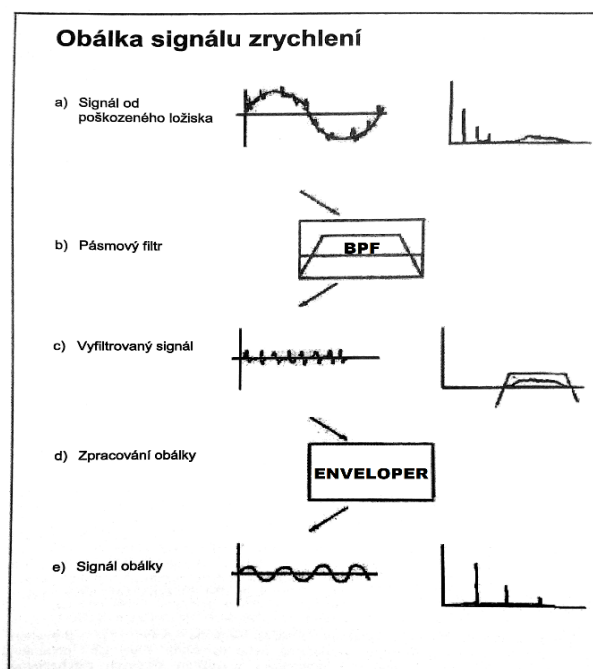


Obr. 16 - Časové průběhy oken

Správný výběr časového okna má značný vliv na prezentování naměřených FFT spekter, které můžou být svou neplynulou návazností signálu patrně zkresleny.

1.6.5 Obálková metoda

Ze spektra naměřeného signálu nejsme schopni zcela indikovat dílčí část ložiska, u které došlo k degradaci. Z tohoto důvodu používáme metodu analýzy obálek, jelikož je přínosná svou přehledností. Zvýrazňuje tak malé signály oddělením ložiskových signálů o vyšší frekvenci od nízkofrekvenčních vibrací stroje za pomoci pásmového filtrování. Po modulaci (Obr. 17.c) se signál změní v tzv. obálku (obalené pulsy). [19]



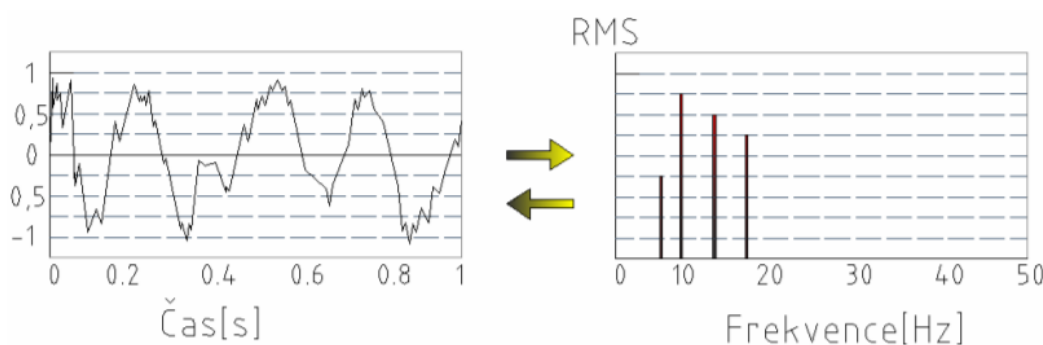
Obr 17. – Obálka signálu zrychlení [10]

Sledované impulsy, jež odpovídají rázům jednotlivých ložiskových elementů při průchodu přes poškození, se od závady opakují ve stejných intervalech, a i přes snížení energie a filtrování se frekvence opakování nezmění. Simulaci signálu znázorníme pomocí harmonické řady sinusových vln, jež jsou celými násobky frekvence závad, jak je vidět na Obr. 17.e. Tím je signál připraven pro aplikaci rychlé Fourierovy transformace (FFT) a následné určení poruchových frekvencí. Jejich výpočet najdeme v kapitole 1.4.1. na str. 8. [19]

1.6.6 FFT – Rychlá Fourierova transformace

Nejběžnější analytická metoda je frekvenční analýza vibračních signálů pomocí FFT. Převažuje svou přesností, rychlostí a lepší orientací. Díky FFT jsme schopni přejít z časové [s] oblasti do oblasti frekvenční [Hz] (Obr. 18). Frekvenční analýza je stručně řečeno matematická metoda, jež hledá periodické děje v časovém průběhu vibračního signálu, které následně zobrazí jako jednotlivé čáry. Nachází výhodu u signálů složených z několika harmonických signálů o rozdílné frekvenci doprovázené šumem.

Procesor obsahuje paměť pro sběr digitalizovaného časového průběhu a matematické jednotky, která zajišťuje výpočet frekvenčního spektra. Analyzátor, resp. vlastní měřicí přístroj vibrací, označován též jako datakolektor (sběrač dat), je vybaven vyhodnocovacím softwarem. [10]



Obr. 18 - Frekvenční a časová doména spektra [3]

Poznámka: K dané problematice můžeme více najít v ČSN ISO 13373-1.

2 Monitorování

Online diagnostika systému eFLINK nám poskytuje výhody nejen z hlediska aktuálnosti naměřených dat a tím možnosti včasné reakce, ale také umožňuje ukládání trendů, vyhodnocení sledovaných signálu a následné vizuální i akustické upozornění na překročení nastavených alarmových hodnot.

Účelem sledování stavu zařízení je shromažďování a zpracování dat senzorů v pravidelných intervalech (např. kmitání, teploty, tlaky), které následně využíváme k posouzení celkového stavu stroje. Jak již bylo nastíněno v úvodu práce, systém eFLINK se primárně zaměřuje na parametrickou diagnostiku. Jedná se o alternativní metodu zpracování vibračního signálu, která nabízí náležitou analýzu vyhodnocení s větší vypovídací schopností pro dané měření.

Výběr vhodných frekvenčních pásem, charakteristických hodnot a jejich posouzení v delším časovém úseku se nazývá tzv. "trending". Umožňuje sledování více agregátů s relativně nízkou potřebou měření.

2.1 Popis diagnostického systému eFLINK B+R

Jedná se o monitorovací systém s náležitým uživatelským rozhraním, který zvládne vyhodnotit i uživatel bez odborného vzdělání. Využívá se především k vibrodiagnostice klíčových strojů jako jsou ventilátory, čerpadla, motory, převodovky a další.

Zařízení je navrženo jako autonomní dvoustupňové. První stupeň tvoří snímače, převodníky signálů, reléových výstupů, operátorských panelů a měřících ústředí PLC. Druhý stupeň obsahuje komunikaci se serverem APC2100 a SW PROMOTIC s vizualizací eFLINK. [19]

2.1.1 Snímače

- *Snímač 0ACS100A.00-1* - senzor zrychlení s jmenovitou citlivostí 100 mV / g.



Obr. 19 - Snímač 0ACS100A.00-1 [13]

Model number	0ACS100A.00-1	Operating conditions	
Sensor properties		Protection per EN 60529	IP67
Natural resonance (mounted)	22 kHz (rated)	Environmental conditions	
Sensitivity	100 mV/g $\pm 10\%$ nominal 80 Hz at 22°C	Temperature	
Frequency response	2 Hz to 10 kHz $\pm 5\%$ 0.8 Hz to 15 kHz ± 3 dB	Operation	-55 to 140°C
Isolation	Isolated base	Max. shock resistance	5000 g
Measurement range	± 50 g	Emitted interferences	EN 61000-6-4:2001
Cross-sensitivity	<5%	Immunity to disturbances	EN 61000-6-2:1999
Electrical characteristics		Mechanical characteristics	
Electrical disturbances	Max. 0.1 mg	Housing	
Broadband resolution	0.2 mg (200 μ g) over 1 Hz to 15 kHz	Material	Stainless steel
Spectral noise	10 Hz to 10 μ g/Hz 100 Hz to 4 μ g/Hz 1 kHz to 3 μ g/Hz	Installation	M8 x 1.25 x 6 mm bolt, preinstalled on sensor
Current range	0.5 to 8 mA	Weight	110 g
Bias voltage	10 to 12 VDC	Measurement element	PZT piezoelectric crystal (lead zirconate titanate)
Settling time	2 s	Measurement execution	Compressed
Output impedance	Max. 200 Ω	Tightening torque	8 Nm
Housing isolation	>10 ⁸ Ω at 500 V	Connectors	M12

Pinout	Pin	Description
1	Not assigned	3 Not assigned
2	18 to 30 V (brown)	4 0 V (blue)

Obr. 20 - Technická data snímače [13]

- *Snímač teploty pt100* – snímá velikost odporu, kterou pomocí analogového převodníku převede na proud (včetně kalibrace kabelového připojení).
 - Označení pt100 (100 ohmů = 0 °C).
 - Výstupní hodnota proudu je převedena v lineární závislosti na odpovídající teplotu ve °C.
 - Př.: Analogová smyčka v rozsahu 4 – 20 mA odpovídá teplotnímu rozsahu snímače -200 – 600°C.



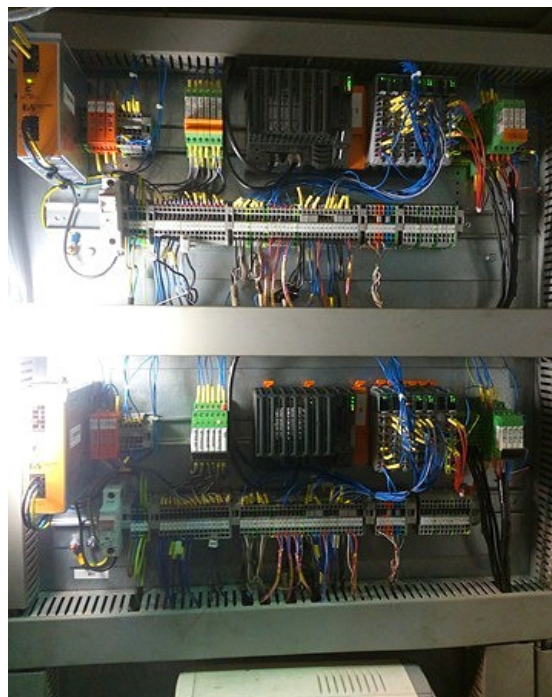
Obr. 21 - Teplotní snímač [20]

2.1.2 Měřicí ústředna

Hlavní části systému jsou umístěny v rozvodné skříni označené HDV ČSA3. Systém ovládáme pomocí dvou řídicích PLC displejů (pro oba ventilátory samostatný režim). Rozvaděč dále obsahuje ethernetový komunikační modul, měřicí karty, reléové karty, napájecí zdroje, obslužné panely, reléové obvody, napájecí a jisticí obvody.



Obr. 22 - Rozvodová skříň s PLC displeji



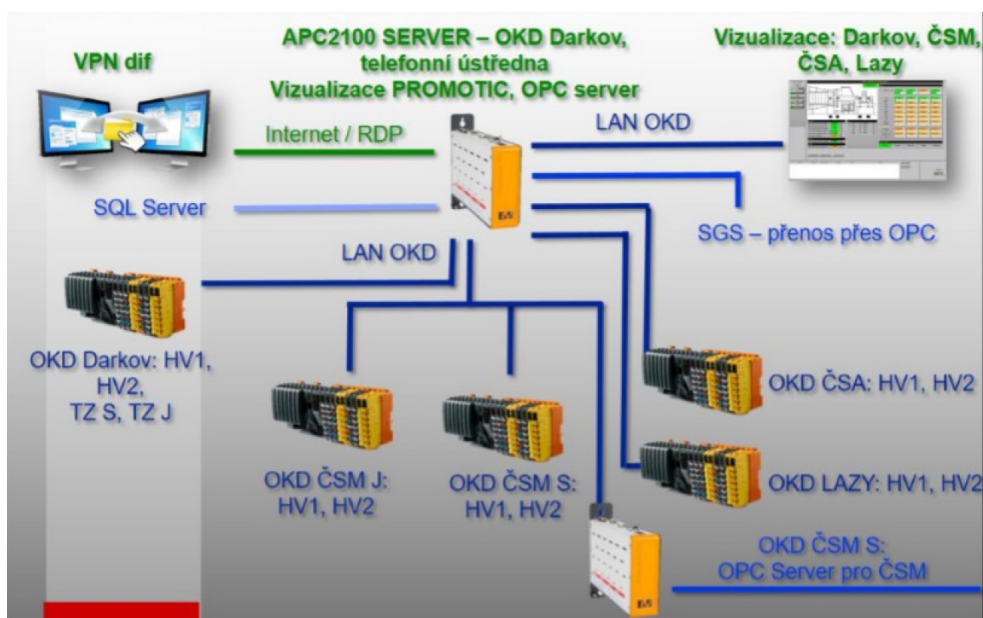
Obr. 23 - Systém rozvodové skříně

2.1.3 Komunikace

Komunikace mezi řídicími PLC a serverem APC2100 je realizována v LAN síti OKD a data jsou přenášena v reálném čase pomocí OPC (Open Platform Communications) protokolu.

Na serveru APC2100 běží vizualizační software eF-LINK s funkcí webserveru, který zobrazuje v reálném čase naměřená data a trendové průběhy. Trendová data jsou uložena na virtuálním SQL serveru OKD. Vizualizaci je možné zobrazit v intranetu OKD na libovolném PC.

Server APC2100 poskytuje prostřednictvím OPC serveru vizualizaci v SCADA systému PROMOTIC pro snadný přehled o stavu stroje a zařízení v dispečerském PC. Provozovaná PLC mají přiřazeny vlastní IP adresy, pomocí kterých je možná lokalizace v síti. [19]



Obr. 24 - Schéma komunikace [19]

2.1.4 Aplikace a provoz systému eFLINK

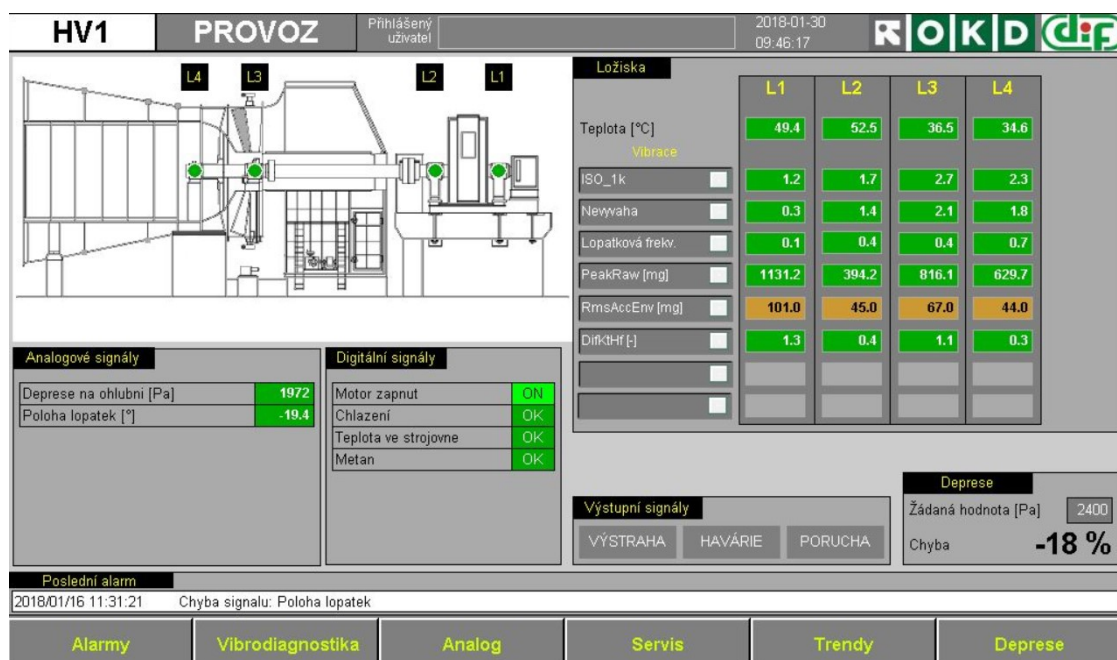
Před samotným zahájením provozu ventilátoru je třeba provést kontrolu systému. Tzn. vizuální kontrola vibrodiagnostického systému, funkce vizualizace (odezva systému na úkon uživatele), kontrola stavu sledovaných hodnot a přítomnost aktivních alarmů.

Během provozu je nutné kontrolovat displej, zdali je zobrazen stav „PROVOZ“ a výstražné signály nejsou aktivní.

Poznámka: Obsluhovat systém regulace výkonu a vibrodiagnostiky smí jen osoba s tím náležitě seznámená a pomocí prvků k tomu určených.

- **Hlavní obrazovka**

Hlavní obrazovka neboli menu slouží k zobrazení stavu daného ventilátoru, včetně příslušných barevných indikátorů. Dále obsahuje jednotlivé panely pro hlubší analýzu.



Obr. 25 - Hlavní obrazovka systému [19]

- **Panel „Ložiska“**

Zobrazuje aktuální úroveň měřených parametrů ložisek aktivního ventilátoru jako jsou - teplota, charakteristické hodnoty a frekvenční pásma. Dále poskytuje uživateli zvolit vybraný parametr pro zobrazení trendu.

- **Panel „Analogové signály“**

Vyhodnocuje aktuální hodnoty analogových veličin jako je tlak a poloha lopatek ventilátoru, na základě žádané hodnoty. V případě poklesu deprese (z pravidla víc jak 20%), která může kolísat vlivem změny okolní teploty a tlaku, systém spustí alarm.

- **Panel „Digitální signály“**

Zobrazuje hodnoty digitálních / binárních signálů (1=zapnuté, 0=vypnuté)

- **Panel „Výstupní signály“**

Udává stav ventilátoru.

- PROVOZ – ventilátor je v chodu
- PORUCHA – některá sledovaná veličina na ventilátoru má poruchu signálu
- VÝSTRAHA – některá sledovaná veličina přesáhla první alarmovou hodnotu (A1)
- HAVÁRIE – některá sledovaná veličina přesáhla druhou alarmovou hodnotu (A2)

- **Barevné indikátory**

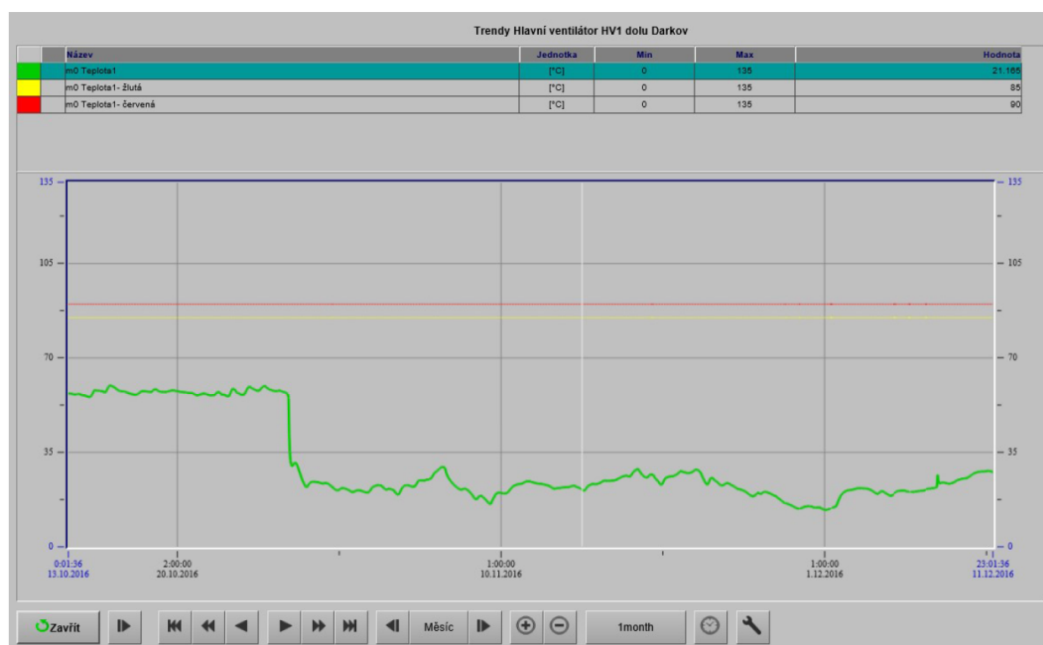
- zelená – veličiny v limitech
- modrá – porucha signálu
- žlutá – některá ze sledovaných veličin přesáhla první alarmovou hodnotu (A1)
- červená – některá ze sledovaných veličin přesáhla druhou alarmovou hodnotu (A2)
- šedá – nesleduje se

Spodní část obrazovky obsahuje tlačítka pro přechod na další obrazovky.

Nad tlačítka je panel zobrazující poslední aktivní nebo nepotvrzený alarm. Tento panel je zobrazen na všech obrazovkách.

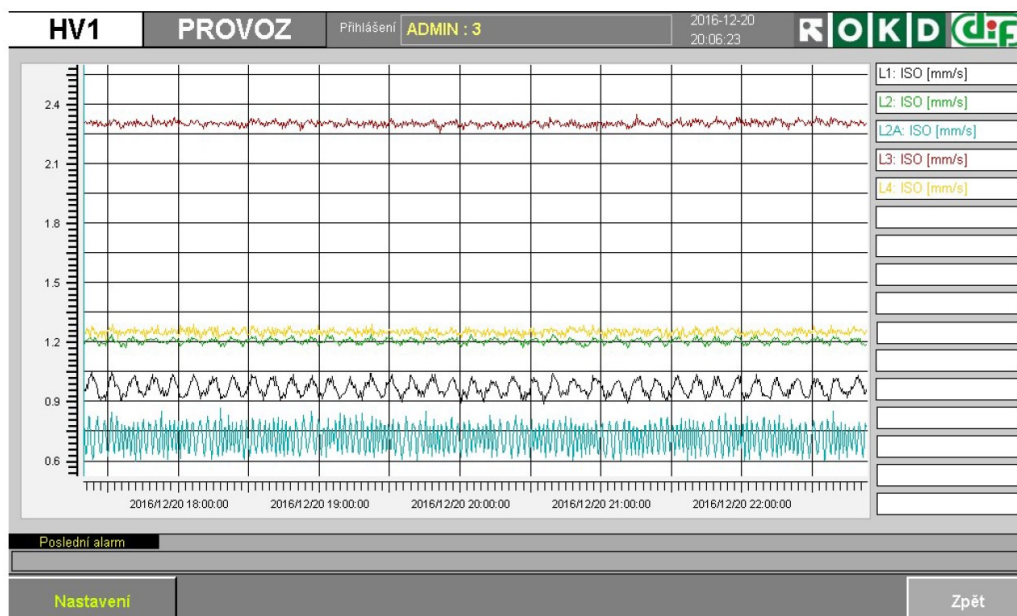
- **Tlačítko „trendy“**

V trendu můžeme zobrazit analogové veličiny, charakteristické hodnoty vibrací a frekvenční pásma vibrací. Pro jeho zobrazení vybereme příslušný parametr (**ISO_1K**) a zvolíme tlačítko „trendy“. Na Obr. 26 můžeme vidět ukázkou obrazovky trendu teploty ložiska (L1) ve zhruba dvou měsíčním intervalu. Žlutá mez znázorňuje hodnotu prvního alarmu (výstraha) a červená druhého (havárie).



Obr. 26 - Zobrazení trendu teploty ložiska [19]

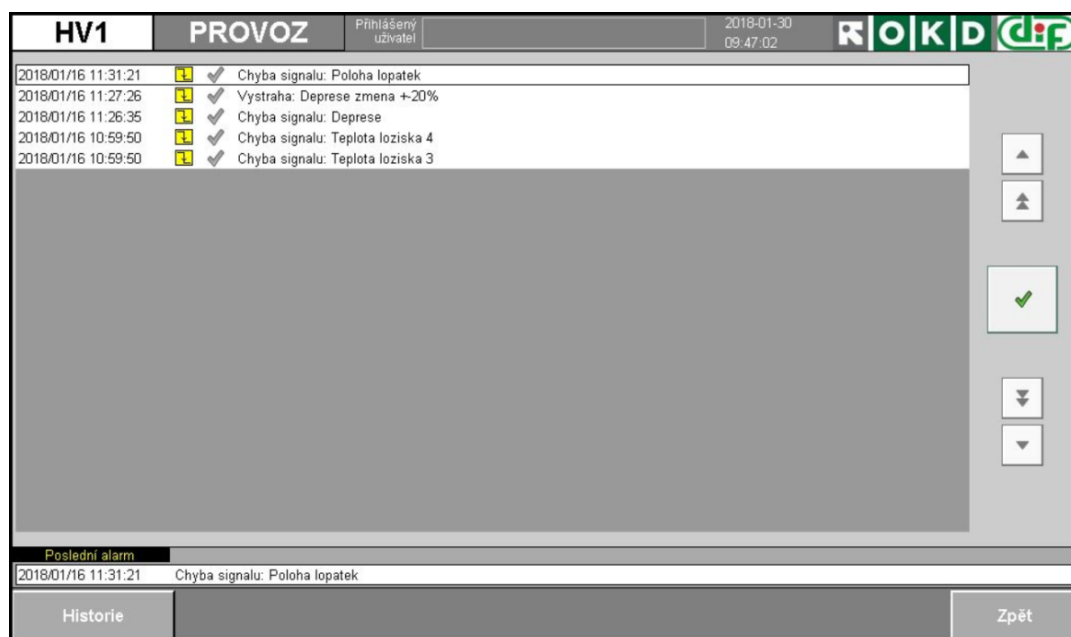
Obr. 27 znázorňuje historii trendu vybrané veličiny ISO 10816 pro každé ložisko. Zobrazení můžeme jednotlivě nastavit a současně lze zobrazit až 16 trendů.



Obr. 27 - Historie trendu charakteristické hodnoty ISO 10816 [19]

- **Tlačítko „alarmy“**

Tato obrazovka slouží k zobrazení aktivních a nepotvrzených alarmů. Tyto alarmy lze za podmínek přihlášeného uživatele potvrdit tlačítkem ☒.



Obr. 28 - Zobrazení aktivních a nepotvrzených alarmů [19]

Tlačítko „Historie“ nám zobrazí všechny alarmy, jak ukazuje Obr. č. 29. Období zobrazované historie je dáno kapacitou paměti pro ukládání alarmů a četností alarmů.

HV1	PROVOZ	Přihlášený uživatel	2018-01-30 09:47:44	ROKID CLP
2018/01/26 07:02:06	03:01	Odhlasení uživatele (Czapek : 2)		
2018/01/26 06:59:21	03:00	Přihlášení uživatele ()		
2018/01/16 11:34:16	05:04	Výstraha: Deprese změna +20%		
2018/01/16 11:31:50	04:04	Chyba signálu: Deprese		
2018/01/16 11:31:21	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:31:21	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:27:26	05:04	Výstraha: Deprese změna +20%		
2018/01/16 11:26:35	04:04	Chyba signálu: Deprese		
2018/01/16 11:21:38	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:21:37	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:21:37	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:21:37	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:32	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:32	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:30	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:30	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:26	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:20:26	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:18:55	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:18:54	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:18:54	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
2018/01/16 11:18:53	04:05	Chyba signálu: Poloha lopatek		
Poslední alarm				
2018/01/16 11:31:21	Chyba signálu: Poloha lopatek			
Zpět				

Obr. 29 - Historie všech alarmů [19]

- **Tlačítko „vibrodiagnostika“**

Pro každé ložisko lze nastavit alarmování charakteristických hodnot, a to alarm výstrahy (A1) a alarm havárie (A2). Zaškrtnutím veličin vlevo povolujeme alarmování dané charakteristické hodnoty. Bližší popis jednotlivých hodnot je v kapitolách 2.2.1. a 2.2.3.

HV1		PROVOZ					Přihlášený uživatel				2018-01-30 09:48:18		ROKID CLP		
		Ložisko L1			Ložisko L2			Ložisko L3			Ložisko L4				
		A1	A2		A1	A2		A1	A2		A1	A2		A1	A2
✓	ISO10816 [mm/s]	1.0	4.5	7.1	1.7	4.5	7.1	1.5	4.5	7.1	1.3	4.5	7.1		
	RmsAccRaw [mg]	299.0	0.0	0.0	111.0	0.0	0.0	230.0	0.0	0.0	142.0	0.0	0.0		
	RmsAccEnv [mg]	104.0	525.0	1575.0	46.0	0.0	1575.0	70.0	525.0	1575.0	42.0	525.0	1575.0		
	RmsVelRaw [mm/s]	1.1	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0		
	RmsVelEnv [mm/s]	5.6	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0		
✓	PeakRaw [mg]	1066.5	2500.0	3750.0	394.2	2500.0	3750.0	1111.5	2500.0	3750.0	542.4	2500.0	3750.0		
	RmsRaw [mg]	291.5	0.0	0.0	113.3	0.0	0.0	227.3	0.0	0.0	141.1	0.0	0.0		
	CFacRaw [-]	3.7	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	4.9	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0		
	KurtRaw [-]	-0.2	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0		
	SkewRaw [-]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	DifkRaw [-]	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0		
	PeakRawRef [mg]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	RmsRawRef [mg]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
	PeakHf [mg]	1113.7	0.0	0.0	589.2	0.0	0.0	946.7	0.0	0.0	544.9	0.0	0.0		
	RmsHf [mg]	318.2	0.0	0.0	153.2	0.0	0.0	252.9	0.0	0.0	137.6	0.0	0.0		
	CFacHf [-]	3.5	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	3.7	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0		
✓	DifkHf [-]	1.6	10.0	50.0	0.4	10.0	50.0	1.1	10.0	50.0	0.3	10.0	50.0		
	PeakHfRef [mg]	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0		
	RmsHfRef [mg]	220.0	0.0	0.0	220.0	0.0	0.0	220.0	0.0	0.0	220.0	0.0	0.0		
Poslední alarm															
2018/01/16 11:31:21 Chyba signálu: Poloha lopatek															
Frekvenční pásma				Nastavení								Zpět			

Obr. 30 - Charakteristické hodnoty a jejich povolené alarmy [19]

Pod obrazovka „frekvenční pásma“ obsahuje navíc nastavení alarmů pro frekvenční pásma (ISO, nevývaha a lopatkové frekvence).

- **Tlačítko „analog“**

Slouží k nastavení a povolení alarmování analogových veličin.

Poznámka: Obsluhovat systém regulace výkonu a vibrodiagnostiky smí jen osoba s tím náležitě seznámená a pomocí prvků k tomu určených.

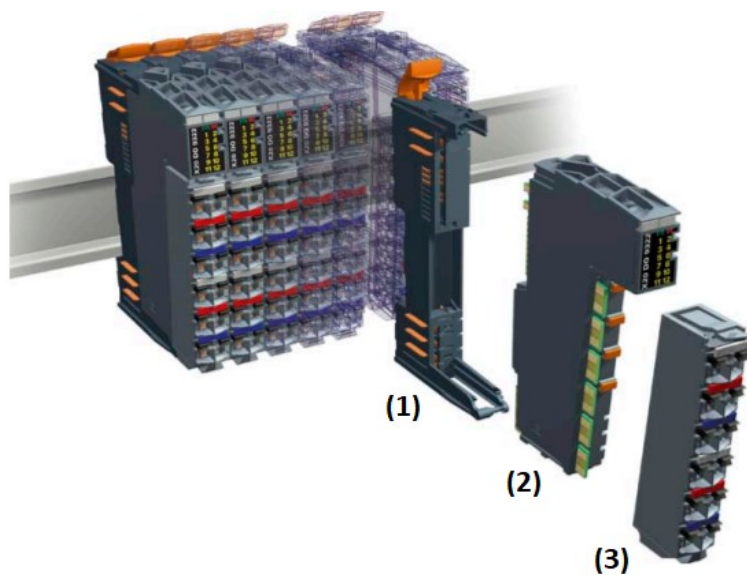
- **Tlačítko „servis“**

Díky možnosti připojení analyzátoru do rozvodové skříně, nabízí systém schopnost externího měření. Po dobu externího měření je zapotřebí online systém vyřadit z provozu.

Poznámka: Tato služba je určena pro firmy provádějící servis.

2.1.5 Struktura

Systém eFLINK se skládá z mnoha příslušných modulů. Každý modul se skládá ze tří základních prvků - svorkovnice (1), elektronický modul (2) a modul sběrnice (3), jak můžeme vidět z Obr. 31. Prvky lze snadno vyměnit, obzvláště elektronické moduly lze vyměnit bez přerušení provozu. Systém umožňuje kombinovat příslušné součásti v závislosti na požadavcích uživatele a individuálních požadavků na aplikaci. [17]



Obr. 31 - Tři základní prvky každého modulu [17]

X20 CPUs

Procesor CPUs má rozhraní pro komunikaci v reálném čase. Disponuje vysokým výkonem, možností připojení k síti a zařízení USB. Lze přímo připojit až 250 I / O modulů - 3000 kanálů. [17]



Obr. 32 - Procesor X20 CPUs [17]

Automatizační studio

„B & R Automation Studio“ je programovací nástroj potřebný pro všechny platformy. Může být použit k vytváření aplikačního softwaru ve všech relevantních jazycích. [17]

Technologie založená na PC

Procesory zahrnují rozsáhlé množství paměti RAM. V případě výpadku proudu jsou proměnné automaticky zkopírovány z rychlé paměti RAM do zabezpečeného SRAM. Obsah dat se proto po opětovném spuštění zachová, takže proces může být jednoduše obnoven. [17]



Obr. 33 - Technologie založená na PC [17]

Diagnostika pomocí LED displeje

Rychlé nalezení chyb nám umožní diagnostika pomocí vizuálních LED displejů. Stav sběrnice, stav I / O a stav kanálu. Různé stavy se zobrazují různými způsoby s rozdílem mezi "blikáním" a "jediným bleskem" např. zelená - správně (right), červená - chyba (error). [17]



Obr. 34 - Vizuální diagnostika přímo na modulu pomocí LED indikátorů [17]

Modul X20CM4810

Jak již bylo nastíněno v předchozím textu, systém se primárně zaměřuje na charakteristické hodnoty a frekvenční pásma. Z tohoto pohledu je pro nás důležitý modul X20CM4810, který je klíčový pro výpočet těchto hodnot.

I/O modul - X20 vstupní modul pro měření vibrací a analýzu sledování stavu. [17]

Technické data - 4 analogové vstupy

- typ vstupu IEPE (Integrated Electronics Piezo-Electric - charakterizuje technickou normu pro piezoelektrické snímače)
- digitální rozlišení konvertoru 24 bitů
- povolený vstupní signál ± 10 V AC
- vzorkovací frekvence 51,5625 kHz
- vstupní vysokofrekvenční mezní frekvence 34 mHz
- vstupní nízkofrekvenční mezní frekvence 19,75 kHz
- převzorkování 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 10 kHz (konfigurovatelné)
- frekvenční rozlišení spektra 0.0629 Hz, 0.1574 Hz, 0.3147 Hz, 0.6294 Hz, 1.5736 Hz, 3.1471 Hz.

2.2 Diagnostika systému eFLINK

Diagnostika systému eFLINK se od jiných online systémů liší vyhodnocením naměřených dat. Jednak obsahuje více metod pro zjištění stavu poškození ložiska díky výpočtům tzv. charakteristických hodnot a z druhého hlediska to jsou pak přesnější výsledky a lepší orientace pro obsluhu bez odborných znalostí díky rozdělení spektra do tzv. frekvenčních pásem.

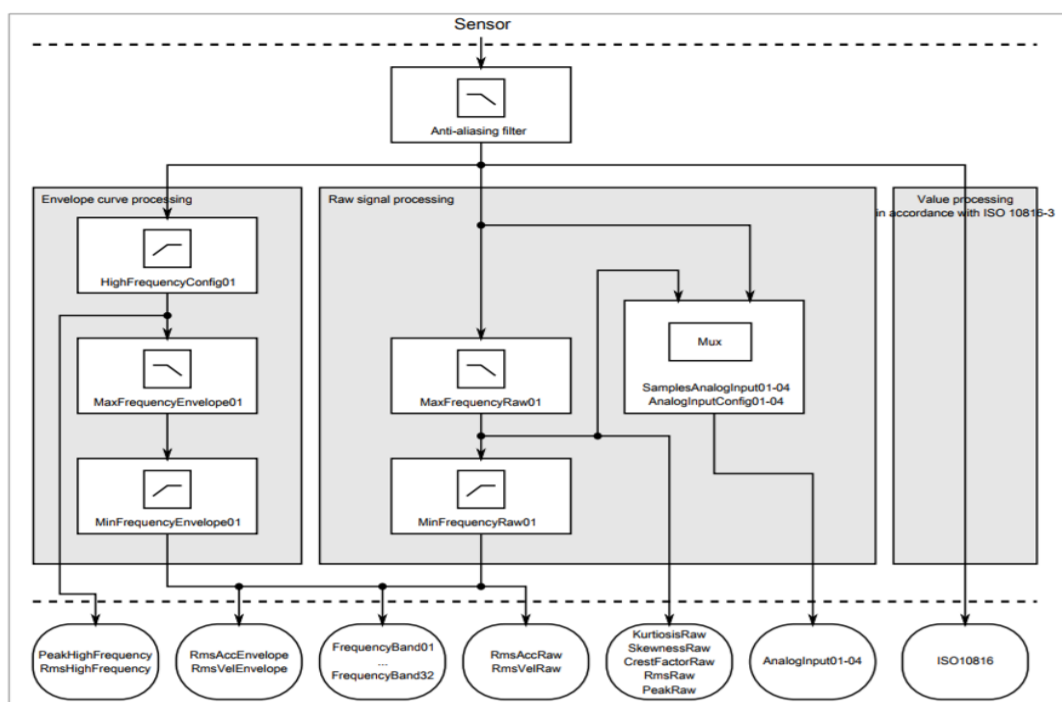
Na čtyřech ložiskách provozovaného stroje HV 1, respektive HV 2 jsou za pomoci akcelerometrů snímány vibrace. Snímače jsou zapojeny v měřicích ústřednách (PLC) do měřicích karet. Tyto karty zpracovávají vibrační signál a do systému předávají informaci o stavu vibrací v podobě charakteristických parametrů a frekvenčních pásem.

V systému jsou pro tyto parametry nastaveny meze s přiřazenými reléovými výstupy – výstraha, nebezpečí. Funkčnost měřicího snímače vibrací je neustále monitorována a v případě poruchy (přerušení / odpojení / zkrat) je aktivován reléový výstup – porucha. Ta je zaznamenána do systému a je signalizována ve vizualizaci PLC, popř. vizualizaci eF-LINK. Tyto signály jsou dále předávány na dispečink.

2.2.1 Generace signálu a konfigurace filtru

Systém eFLINK má řadu konfigurovatelných filtrů. Tyto filtry používáme pro zvýšení frekvenčního rozlišení. Čím nižší bude nastavený frekvenční rozsah, tím vyšší získáme rozlišení a přesnější hodnoty. Podmínkou je nastavení vhodného rozlišení pro daný typ zařízení.

Následující signály a charakteristické hodnoty se počítají ze vstupního signálu snímače zrychlení. Jeho generování je znázorněno na Obr. 35.



Obr. 35 - Generování signálů v modulu [17]

Poznámka - pro následující text je nutné znát tato označení:

„Raw signál“ – tzv. surový signál, kdy měřený signál pokrývá celé frekvenční pásmo. Pro ventilátor ČSA je toto rozmezí stanoveno v rozsahu 0 – 5 kHz.

„High frequency“ (Hf) - Jedná se o takzvaný ořez od nízkofrekvenčního spektra za účelem zvýšení frekvenčního rozlišení. Pro ventilátor ČSA je tato hodnota stanoven od 500 Hz.

Vstupní hodnoty:

Konfigurace systému je založená na základě vstupních hodnot. Vstupní hodnoty pak ovlivňují charakteristické hodnoty a frekvenční pásma.

„HighFrequencyConfig01“ – Funkce, pomocí níž lze konfigurovat vysoko pásmový filtr pro celý modul. Jedná se o takzvaný ořez nízkofrekvenčního spektra. Možná nastavení jsou 500 Hz, 1 kHz a 2 kHz. Tato vysoká rychlost ovlivňuje všechny charakteristiky vysokofrekvenčních a obalových charakteristických hodnot všech modulových kanálů.

Pro ventilátor ČSA je tato hodnota nastavena od 500 Hz.

„**MaxFrequencyRaw01**“ – konfiguruje filtr pro „raw signál“. Jedná se o nejvyšší možné pásmo rozsahu měření. Možná nastavení je 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz a 10 kHz.

Pro ventilátor ČSA je tato hodnota nastavena do 5 kHz.

„**MinFrequencyRaw01**“ – Jedná se o malý ořez signálu od nízkofrekvenčních vibrací (z pravidla první tři amplitudy), poněvadž při zpracování vysokofrekvenčního signálu může vzniknout chyba integrace, což způsobí nežádanou vysokou amplitudu na začátku frekvenčního spektra.

„**MaxFrequencyEnvelope01**“ - konfiguruje filtr pro signál obálky. Jedná se o nejvyšší možné pásmo rozsahu měření. Možná nastavení jsou 200 Hz, 500 Hz, 1 kHz a 2 kHz.

Pro ventilátor ČSA je tato hodnota nastavena do 500 Hz.

„**MinFrequencyEnvelope01**“ – Jedná se o minimální frekvenci obálky, která by měla být větší než otáčková frekvence daného zařízení. Důvodem je nežádané ovlivnění signálu poškozením s vysokou energií (př. nevývahy).

Referenční hodnoty pro DifKtHf parametr:

Hodnoty nepoškozeného ložiska se porovnávají s aktuálně naměřenými.

- **PeakHfRef [mg]** – referenční parametry 1000 mg
- **RmsHfRef [mg]** – referenční parametry 220 mg

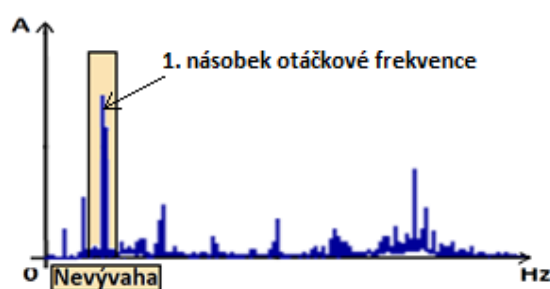
Referenční hodnoty pro DifKtRaw parametr:

Hodnoty nepoškozeného ložiska se porovnávají s aktuálně naměřenými.

- **PeakRawRef [mg]** – referenční parametry
- **RmsRawRef [mg]** – referenční parametry

2.2.2 Frekvenční pásma

Je možné individuálně konfigurovat až 32 kmitočtových pásem, na kterých zjišťujeme efektivní hodnotu (RMS) nebo špičkovou hodnotu. Každá závada se projevuje na své určité frekvenci. Jedná se tedy o rozdělení frekvenčního spektra na jednotlivé části, kdy kolem specifické frekvence stanovíme „obdélník“ neboli frekvenční pásmo, jak můžeme vidět na Obr. 36. Toto pásmo je následně pojmenováno podle typu závady a jeho celkovou aktuální hodnotu můžeme zobrazit přímo na PLC displeji online systému pod ikonou „Nevývaha“.



Obr. 36 – Frekvenční pásmo nevývahy

Pro správné nastavení frekvenčních pásem jsou důležitým údajem otáčky stroje. U proměnných otáček je třeba systému doplnit o záznam aktuálních otáček.

2.2.3 Základní popis charakteristických hodnot

Modul X20CM4810 počítá nezávisle všechny charakteristické hodnoty každých 300 ms. Jakým způsobem budou charakteristické hodnoty pracovat definujeme pomocí vstupních hodnot (str. 30). [19]

ISO 10816

Hodnota RMS od vstupního signálu rychlosti oscilace stanovující limitní hodnocení podle standardu ISO 10816 - Obr. 14 na str. 11. Vyhodnocení závisí na typu stroje a druhu ustavení (měkké nebo pevné základy). Posouzení RMS hodnoty se provádí ve frekvenčním rozsahu od 10 Hz do 1 kHz. V tomto pásmu se projevují nízkofrekvenční poruchy typu: nevývaha, uvolnění, nesouosost, poškození lopatky.

Hodnoty Peak:

PeakHf (Peak High Frequency) [mg]

Maximální suma vytvořená z vysokofrekvenčních částí vstupního signálu zrychlení kmitání ve frekvenčním rozsahu možném mezi 500 Hz – 2 kHz ("HighFrequencyConfig01") a 10 kHz.

Pro ventilátor ČSA je toto rozmezí stanoveno v rozsahu 500 – 5 kHz.

„Příklad: Nedostatečné mazání, suché ložisko.“

PeakRaw [mg]

Maximální suma špičkových hodnot daná vstupním surovým signálem zrychlení oscilací až po nastavenou maximální frekvenci ("MaxFrequencyRaw01") kanálu.

„Příklad: Nedostatečné mazání, suché ložisko.“

Hodnota RMS:

Hodnota RMS je známá jako kvadratická střední hodnota. Spolu s amplitudou také zohledňuje energetický obsah oscilace a je matematickým pozadím mnoha charakteristických hodnot.

RmsAccEnv [mg]

Hodnota RMS vytvořená ze signálu obálky zrychlení kmitání z nastavené minimální frekvence ("MinFrequencyEnvelope01") výše na maximální frekvenci ("MaxFrequencyEnvelope01") kanálu.

„Příklad: Stav poškození ložiska.“

RmsAccRaw [mg]

Hodnota RMS tvořená ze vstupního surového signálu zrychlení kmitání z nakonfigurované minimální frekvence ("MinFrequencyRaw01") výše na maximální frekvenci ("MaxFrequencyRaw01") daného kanálu.

„Příklad: Poškození ozubení na převodovce.“

RmsHf (Rms High Frequency) [mg]

Hodnota RMS tvořená z vysokofrekvenční oblasti vstupního signálu zrychlení kmitání. High-pass filtr může být nastaven pomocí registru "HighFrequencyConfig01" (500 Hz - 2 kHz) a 10 kHz.

Pro ventilátor ČSA je toto rozmezí stanoveno v rozsahu 500 – 5 kHz.

„Příklad: Nadměrné zatížení ložiska/ozubení, prvotní poškození ložiska/ozubení“

RmsRaw [mg]

Hodnota RMS vstupního surového signálu zrychlení kmitání až po nastavenou maximální frekvenci ("MaxFrequencyRaw01") daného kanálu.

„Příklad: Poškození ozubení.“

RmsVelEnv [mm/s]

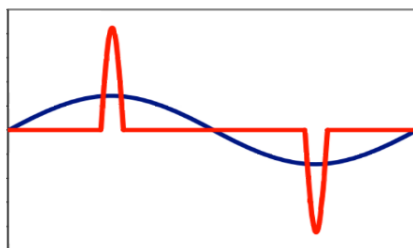
Hodnota RMS rychlosti obálky z nastavené minimální frekvence ("MinFrequencyEnvelope01") až na nakonfigurovanou maximální frekvenci ("MaxFrequencyEnvelope01") kanálu.

RmsVelRaw [mm/s]

Hodnota RMS tvořená ze vstupního surového signálu rychlosti kmitání z nastavené minimální frekvence ("MinFrequencyRaw01") výše na maximální frekvenci ("MaxFrequencyRaw01") příslušného kanálu.

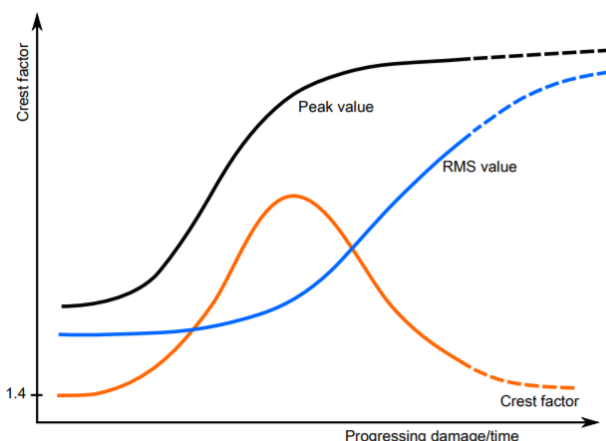
Crest factor:

Jinými slovy faktor výkyvu vypovídá o měřítku tvaru signálu, resp. o jeho dynamickém průběhu. Je definován jako podíl špičkové hodnoty a hodnoty RMS. Následující obrázek znázorňuje, proč je pro nás crest factor přínosný. Při sinusovém průběhu (modrá křivka) je faktor roven $\sqrt{2}$ zatímco nesinusový průběh (červená křivka) vykazuje větší špičku a tím i zcela jinou hodnotu faktoru. [18]



Obr. 37 - Příklad crest factoru [18]

Stejně jako u nepoškozeného ložiska odpovídá faktor sumě $\sqrt{2}$. Pokud se jeho stav zhorší, dojde k ovlivnění špičkové hodnoty a následnému zvýšení faktoru výkyvu. Při přetrvávajícím stavu se dále zvyšuje i hodnota RMS. V nejhorším případě může faktor výkyvu zůstat nezměněn nebo dokonce opět klesat, a to i navzdory narůstajícímu poškození. [17]



Obr. 38 - Vztah mezi hodnotou RMS a špičkovou hodnotou [17]

CFacHf (Crest Factor High Frequency) [-]

Je crest factor vytvořený z vysokofrekvenčních částí signálu ("PeakHighFrequency" a "RmsHighFrequency") ve frekvenčním rozsahu mezi "HighFrequencyConfig01" (500 Hz - 2 kHz) a 10 kHz.

Pro ventilátor ČSA je toto rozmezí stanoveno v rozsahu 500 – 5 kHz.

CFacRaw [-]

Je crest factor vytvořený ze vstupního signálu zrychlení do nastavené maximální frekvence ("MaxFrequencyRaw01") příslušného kanálu.

DifKt [-]

Převrácená hodnota $K(t)$, za účelem lepší orientace. DifKt se vyhodnocuje na základě referenčních parametrů, kdy hodnoty nepoškozeného ložiska se porovnávají s aktuálně naměřenými. (str. 31)

$K(t)$ [-] - Jedná se o poměr mezi referenčními hodnotami a aktuálně naměřenými hodnotami zrychlení ve vysokofrekvenční části signálu, v souladu se směrnicí VDI 3832. Hodnota $K(t)$ s postupným opotřebením klesá a umožňuje tak rozdělení do tří skupin (bez poškození, předčasné poškození, výrazné poškození). Výhoda hodnoty $K(t)$ je, že se příliš nemění, i když je poškození velké. Vyhodnocení parametru získáme podle vztahu:

$$K(t) = \frac{a_{RMS(0)} \cdot a_{peak(0)}}{a_{RMS(t)} \cdot a_{peak(t)}}$$

- (0) - výchozí hodnota zrychlení v čase 0
- (t) - okamžitá hodnota zrychlení v čase t
- RMS* - efektivní hodnota zrychlení
- Peak* - špičková hodnota zrychlení

Kurtosis

Jedná se účinný doplňující parametr (vrcholnost, čtvrtý statistický moment), který analyzuje stav ložiska pomocí statistických vztahů. Měří RMS hodnoty rychlosti vibrací ložiska, a to ve frekvenčních pásmech 2,5 – 80 kHz. Kurtosis je definován jako poměr dvou statistických charakteristických hodnot. Vychází se z podmínky Gausova normálního rozdělení, tzn. že náhodný vibrační signál nevykazuje harmonické ani vysokofrekvenční pravidelné prvky. Pro splnění této podmínky určujeme parametry šikmosti a špičatosti, které popisují tvar a rozdělení signálu.

Vypočtená hodnota	Stav ložiska
menší než 3	špatně zvolené pásmo, nebo náhodný šum
3 - 4	dobrý stav
5 - 8	začínající poškození
9 - 13	vážné poškození
větší než 13	nebezpečí havárie

Obr. 39 - Mezní hodnoty Kurtosis faktoru [19]

KurtosisRaw

Faktor špičatosti tvořený ze vstupního signálu zrychlení kmitání až do nastaveného maxima frekvence ("MaxFrequencyRaw01") daného kanálu. [17]

SkewnessRaw [-]

Faktor šikmosti tvořený od vstupního signálu zrychlení kmitání až do nastavené maximální frekvence ("MaxFrequencyRaw01") kanálu. Faktor šikmosti (třetí statistický moment) určuje stupeň asymetrie signálu v referenční distribuci. Čím nižší faktor šikmosti je, tím rovnoměrněji se signál rozděluje. Symetricky rozdělený signál má faktor šikmosti roven 0. V závislosti na směru šikmého sklonu může být pozitivní nebo negativní. Značný sklon znamená přibližně hodnotu ± 1 . [17]

3 MĚŘENÍ

Ověření správného fungování online systému, který je aplikován na hlavních důlních ventilátorech (HDV 1, HDV 2) na výdušné jámě ČSA III, OKD a. s., DZ 1, bylo realizováno pochůzkou pomocí analyzátoru A4400 - VA4 Pro II, kterým byly změřeny vibrace ložisek jak na motoru, tak na ventilátoru. Výsledky měření byly následně porovnány s hodnotami systému eFLINK.

První měření proběhlo 8. prosince 2017 na HDV 1. Zahrnovalo seznámení se s vibračním analyzátozem, postupem měření a v neposlední řadě umístěním vibračního snímače na měřené zařízení. Druhé měření se uskutečnilo 20. března 2018.



Technické specifikace

Vstupní kanály:	4 AC, ICP® napájení (0/1) 4 DC pro procesní veličiny 1 TACHO pro externí spouštění
Vstupní rozsah:	AC +/- 12 V špička-špička DC +/- 24V
AD převodník:	24 bitů, 64 bitů zpracování signálu nevyžaduje AutoGain
Dynamický rozsah S/N:	120 dB
Frekvenční rozsah (-3 dB):	maximální rozsah: 0.35 Hz - 90 kHz (1 Ch, 194 kHz vzorkování) maximální rozsah: 0.35 Hz - 25 kHz (4 Ch, 64 kHz vzorkování) minimální rozsah: 0.35 Hz - 25 Hz (4 Ch, 64 Hz vzorkování)
Rozlišení FFT:	min. 100 čar max. 3 276 800 čar
Rekordér signálu:	vzorkovací frekvence 64 kHz 4 Ch - spotřeba paměti 3 GB/hod 4 Ch celková doba nahrávání - 20 hod

Obr. 40 - Analyzátor A4400 - VA4 Pro II [9]

3.1 Měřený stroj

Hlavní důlní ventilátor se skládá z asynchronního motoru ČKD 3B 325-12H – výkon 3 200 kW a ventilátoru ARA 2-3550 od společnosti ZVVZ group, a.s. Provozní otáčky jsou pro oba stroje shodné a pohybují se kolem 495 ot/min. Výkon ventilátoru a regulace deprese na ohlubni seřizujeme natočením devatenácti lopatek ventilátoru.

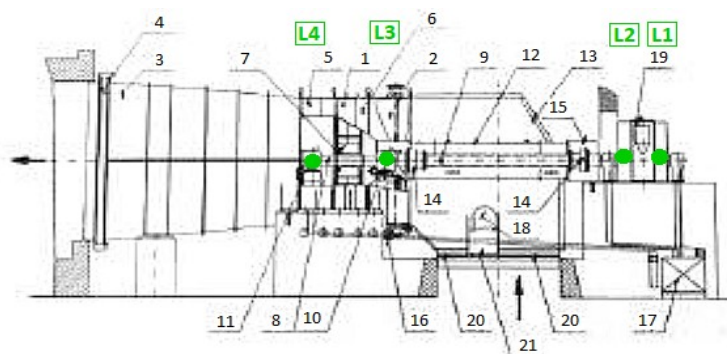


Obr. 41 - Motor HDV



Obr. 42 – Ventilátor ARA 2-3550

Sledované ložiska motoru (dále L1 a L2) a ložiska ventilátoru (dále L3 a L4) jsou vyznačeny na Obr. 43.



- | | |
|------------------------|---|
| 1. Oběžné kolo | 13. Sací komora |
| 2. Regulační ústrojí | 14. Kloub – 67,5 Nm |
| 3. Difuzor | 15. Kryt kloubu |
| 4. Kompenzátor | 16. Předloha regulačního ústrojí |
| 5. Rozváděcí skříň | 17. Mazací stanice |
| 6. Skříň oběžného kola | 18. Průlez |
| 7. Náboj oběžného kola | 19. Elektromotor s frekvenčním měničem otáček |
| 8. Nosný hřídel | 20. Ochranné síto |
| 9. Spojovací hřídel | 21. Kotevní rám s lávkou a zábradlím |
| 10. Přední ložisko | |
| 11. Koncové ložisko | |
| 12. Chladicí trubka | |

Obr. 43 - Základní části HDV

3.2 Měření a vyhodnocení vibrodiagnostiky

Veškeré hodnoty rychlosti, zrychlení a obálky zrychlení vibrací získané měřením byly následně vyhodnoceny podle doporučených norem a barevně rozlišeny z hlediska své závažnosti (od nejnižší hodnoty zelené = OK po nejvyšší hodnotu červenou = neuspokojivé)

Efektivní hodnoty vibrací jsem stanovila podle klasifikace normy ISO 10816-1 [16]. Vyhodnocení závisí na typu stroje a druhu ustavení. Jelikož je soustrojí upevněno na pevných základech a výkon je vyšší než 75 Kw, spadají dané hodnoty do třídy III. Posouzení se provádí ve frekvenčním rozsahu 10 – 1000 Hz.

VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816						
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation	
in/s	mm/s					
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28				
	0.02	0.45				
	0.03	0.71		good		
	0.04	1.12				
	0.07	1.80				
	0.11	2.80		satisfactory		
	0.18	4.50				
	0.28	7.10		unsatisfactory		
	0.44	11.2				
	0.70	18.0				
	0.71	28.0		unacceptable		
	1.10	45.0				

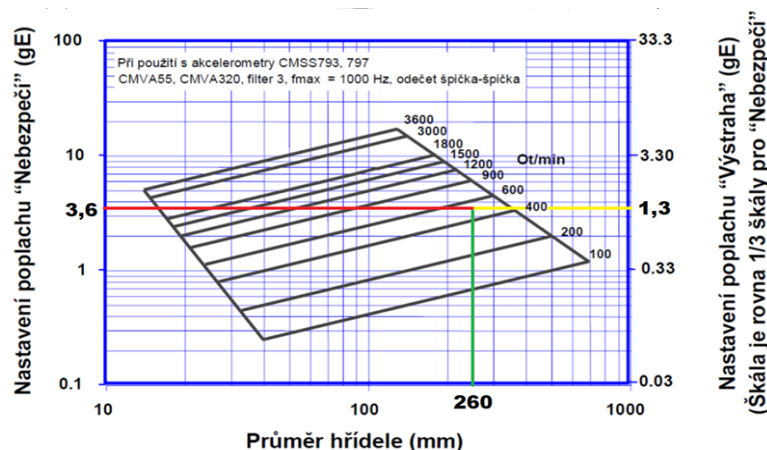
Obr. 44 - Vyhodnocení rychlosti vibrací dle normy ISO 10816 [19]

Pro orientační posouzení zrychlení vibrací slouží tabulka 1. Mezní hodnoty jsou zde použity z nastavených alarmů zrychlení vibrací z online systému.

Tabulka 1- Alarmové hodnoty zrychlení vibrací

Rozhraní pásem	Alarmové hodnoty zrychlení vibrací [g] (0-P)
A/B	0,5 - 2,5 g
B/C	2,5 - 3,75 g
C/D	> 3,75 g

Na závěr to jsou hodnoty obálky zrychlení vibrací podle doporučení SKF, které vyhodnocuje data na základě průměru dané hřídele. V mém případě je průměr soustrojí 260 mm. Na Obr. 45 je vyznačen průměr a jeho odpovídající hodnoty poplachu.



Obr. 45 - Vyhodnocení obálky zrychlení vibrací dle doporučení SKF [19]

3.2.1 Měření a vyhodnocení ložisek motoru

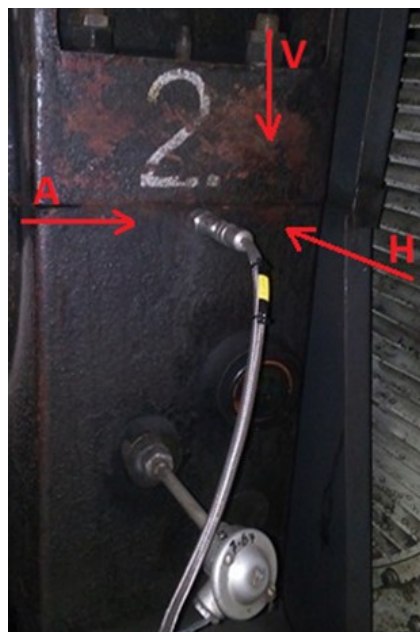
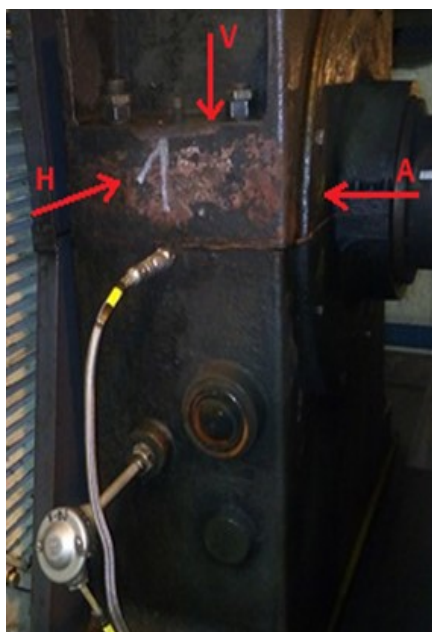
Motor ČKD 3B 325-12H a jeho parametry:

Tabulka 2 - Parametry měřeného stroje

Motor č.1 na ČSA	
Název	ČKD 3B 325-12H
Provedení	Asynchronní
Výkon	3 200 kW
Otáčky	495 ot/min
Otáčková frekvence	8,25 Hz
Ložisko 1	22256 K C3
Ložisko 2	22256 K C3

Ložiska motoru byla změřena manuálně pomocí modulu pochůzka a akcelerometrického snímače Snímač 0ACS100A.00-1.

Měření proběhlo ve třech směrech – horizontálním (LH), vertikálním (LV) a axiálním (LA), se snahou upevnit snímač na nejbližší možné místo k odpovídajícímu zdroji vibrací. Obr. 46 odpovídá pravému ložisku motoru a Obr. 47 odpovídá levému ložisku motoru.



Obr. 46 - Schéma měřících bodů na L1 Obr. 47 - Schéma měřících bodů na L2

Po změření dat vibračním analyzátozem byly výsledky měření zapsány do tabulky a následně vyhodnoceny dle již zmiňovaných kritérií rychlosti, zrychlení a obálky zrychlení vibrací (str. 40).

➤ **Vyhodnocení rychlosti vibrací 1. měření 8.12.2017 a 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 3 - Celkové hodnoty rychlosti vibrací

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816		
	1. měření (RMS)	2. měření (RMS)
L1 H	1,14 mm/s	1,14 mm/s
L1 V	0,567 mm/s	0,513 mm/s
L1 A	1,38 mm/s	1,32 mm/s
L2 H	1,8 mm/s	1,82 mm/s
L2 V	0,669 mm/s	0,513 mm/s
L2 A	1,01 mm/s	1,03 mm/s

Tabulka 3 na první pohled vypovídá o hodnotách zánovních strojů. Přestože hodnota L2 v horizontálním směru spadá do kategorie B – provozuschopný stav, všechny celkové hodnoty rychlosti vibrací jsou nízké, tudíž můžeme prohlásit, že motor nevykazuje mechanické poškození.

➤ **Vyhodnocení zrychlení vibrací 1. měření 8.12.2017 a 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 4 - Celkové hodnoty zrychlení vibrací

Vyhodnocení ACC dle doporučených hodnot		
	1. měření (0-p)	2.měření (0-p)
L1 H	2,48 g	0,888 g
L1 V	0,344 g	0,923 g
L1 A	1,2 g	0,432 g
L2 H	0,343 g	0,261 g
L2 V	0,116 g	0,202 g
L2 A	0,469 g	0,157 g

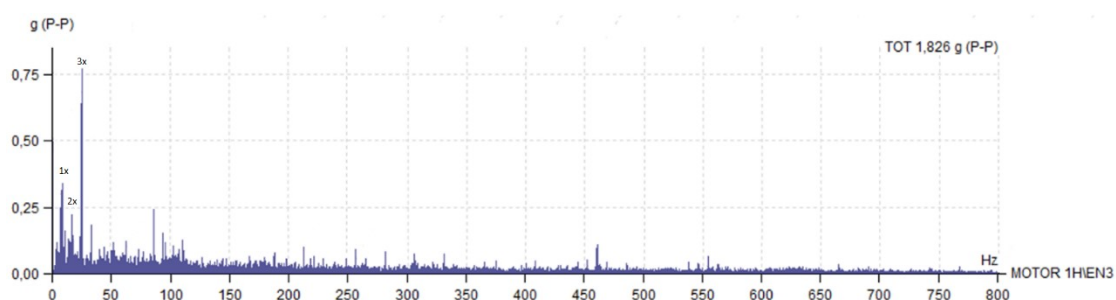
Všechny měřené hodnoty spadají pod kategorii „vyhovující“. Ve spektrech vibrací ACC do 6,4 kHz nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek. Ve druhém měření je znatelný pokles hodnot zejména u L1 v horizontálním směru. S největší pravděpodobností došlo k domazání ložiska nebo výměně oleje.

➤ **Vyhodnocení obálky zrychlení vibrací 1. měření 8.12.2017 a 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 5 - Celkové hodnoty obálky zrychlení vibrací

Vyhodnocení ENV dle doporučení SKF		
	1.měření (p-p)	2.měření (p-p)
L1 H	1,826 g	0,688 g
L1 V	0,298 g	0,751 g
L1 A	1,041 g	0,352 g
L2 H	0,27 g	0,23 g
L2 V	0,08 g	0,193 g
L2 A	0,416 g	0,12 g

Celkové hodnoty obálky zrychlení jsou dle doporučení SKF vyhovující. Ve spektrech vibrací do 6,4 kHz nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek. V prvním měření přesahuje L1 v horizontálním směru mez prvního alarmu – nedostatečné mazání, projev začínajícího poškození. U druhého měření opět došlo k poklesu této hodnoty a s největší pravděpodobností došlo k domazání ložiska nebo výměně oleje.



Obr. 48 – Spektrum obálky zrychlení vibrací L1 H do 800 Hz

Ve spektru je přítomna otáčková frekvence 8,25 Hz. Největší amplituda je zaznamenána na jejím trojnásobku - 25 Hz o velikosti 0,77 g. Patrný je i desetinásobek otáčkové frekvence 82,5 Hz.

Dílčí závěr:

Motor a jeho ložiska L1 a L2 jsou v provozuschopném stavu. V intervalu mezi prvním a druhým měřením došlo s největší pravděpodobností k domazání nebo výměně oleje.

3.2.2 Měření a vyhodnocení ložisek ventilátoru

Ventilátor ARA 2-3550 od společnosti ZVVZ group, a.s. a jeho parametry:

Tabulka 6 - Parametry měřeného stroje

Ventilátor č.1 na ČSA	
Název	ARA 2-3550
Otáčky	495 ot/min
Otáčková frekvence	8,25 Hz
Počet lopatek	19
Frekvence průchodu lopatek	156 Hz
Ložisko 3 - axiální	29252 D
Ložisko 3	23052 BC3
Ložisko 4	23052 BC3

Ložiska ventilátoru byla díky své špatné dostupnosti změřena přes konektor rozvodové skříně, znázorněný na Obr. 49. Na hlavní obrazovce online systému najdeme pod tlačítkem „servis“ obrazovku sloužící pro externí měření (Obr. 50) a zvolíme příslušný

kanál neboli snímač (v mém případě L3 a L4), který bude následně změřen vibračním analyzátozem.

Poznámka: Po dobu externího měření je zapotřebí vyřadit z provozu online systém.



Obr. 49 - Konektor rozvodové skříně pro připojení analyzátoru



Obr. 50 - Obrazovka online systému pro externí měření [19]

Ložiska L3 a L4 ventilátoru jsou snímána pouze jedním vibračním snímačem, a to v horizontálním směru.

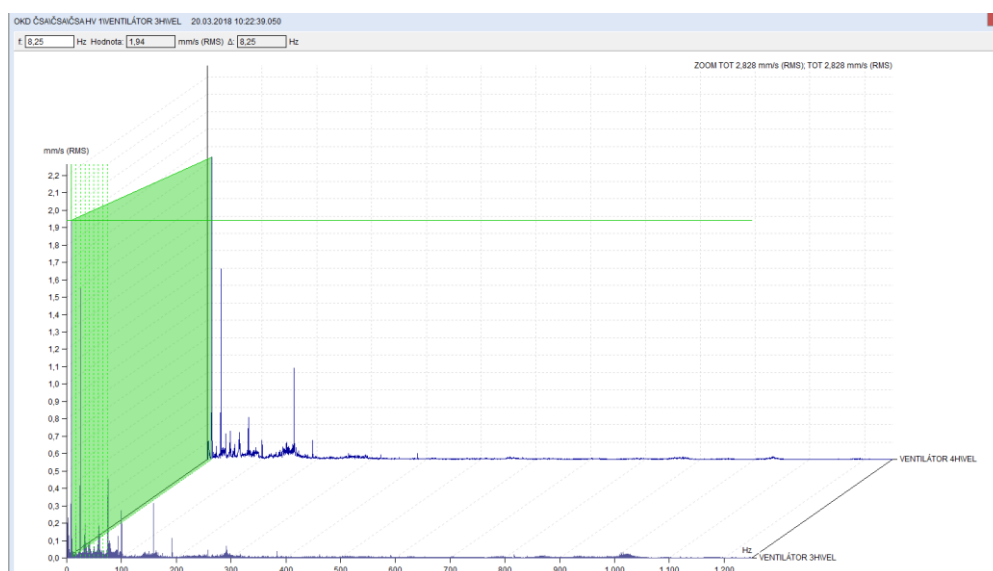
První měření dne 8.12.2017 ložisek ventilátoru L3 a L4 bylo ovlivněno chybou měření a jeho výsledky jsou proto nepoužitelné.

➤ **Vyhodnocení rychlosti vibrací 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 7 - Celkové hodnoty rychlostí vibrací

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816		
	1. měření (RMS)	2. měření (RMS)
L3 H	Chyba měření	2,83 mm/s
L4 H	Chyba měření	2,24 mm/s

Dle ČSN ISO 10816 spadají tyto vibrace do pásma B – provozuschopný stav. Ve spektrech je zřetelná dominantní otáčková frekvence 8,25 Hz a její trojnásobek. Jedná se o nevyváženost, amplitudy však dosahují nižších hodnot.



Obr. 51 – Kaskáda spekter vibrací rychlosti L3 a L4 do 1,2 kHz

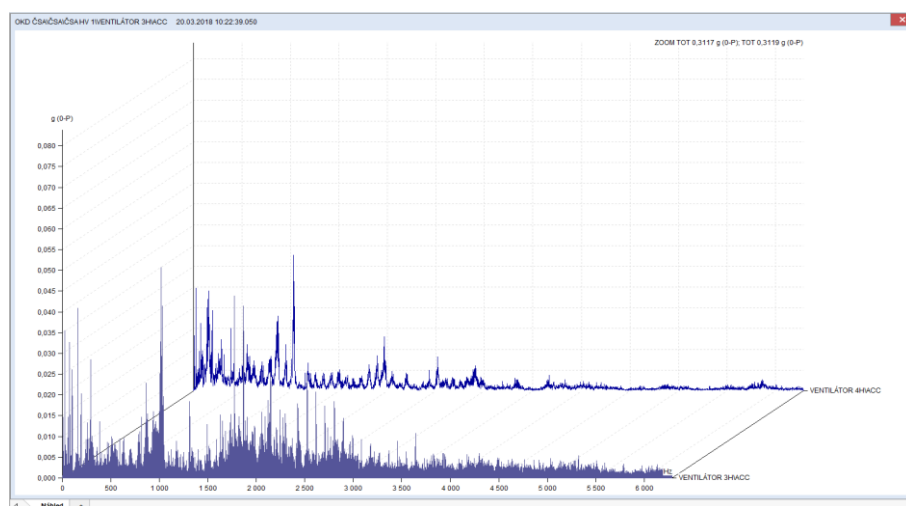
Amplitudy do 2 mm/s. Velikost otáčkové frekvence 8,25 Hz u L3 H = 1,95 mm/s a u L4 H = 1,74 mm/s. Patrné jsou i násobky otáčkové frekvence - vůle uvolnění. Viditelná je i frekvence průchodu lopatek 156 Hz, L3 H = 0,3 mm/s a L4 H = 0,5 mm/s.

➤ **Vyhodnocení zrychlení vibrací 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 8 - Celkové hodnoty rychlostí vibrací

Vyhodnocení ACC dle doporučených hodnot		
	1. měření (0-p)	2. měření (0-p)
L3 H	Chyba měření	0,305 g
L4 H	Chyba měření	0,187 g

Celkové hodnoty zrychlení vibrací se pohybuje na nízkých hodnotách. Ve spektrech vibrací nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek.



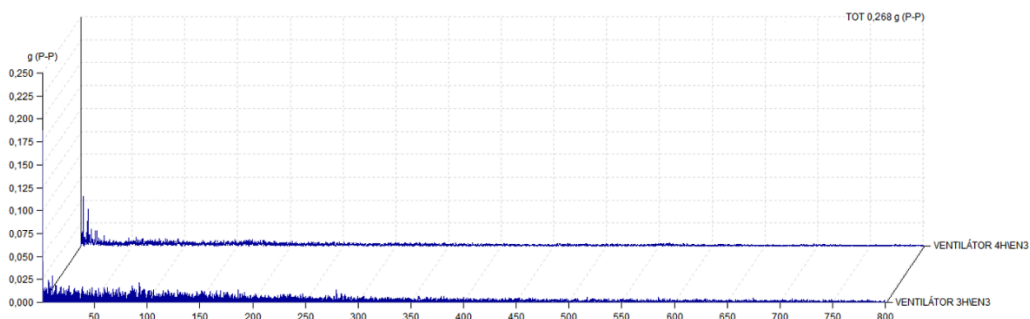
Obr. 52 - Kaskáda spekter zrychlení vibrací L3 a L4 do 6,4 kHz

➤ **Vyhodnocení obálky zrychlení vibrací 2. měření 20.3.2018:**

Tabulka 9 - Celkové hodnoty obálky zrychlení vibrací

Vyhodnocení ENV dle doporučení SKF		
	1. měření (p-p)	2. měření (p-p)
L3 H	Chyba měření	0,268 g
L4 H	Chyba měření	0,151 g

Celkové hodnoty obálky jsou dle doporučení SKF vyhovující. Ve spektrech vibrací obálky zrychlení do 6,4 kHz nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek.



Obr. 53 - Kaskáda spekter obálky zrychlení vibrací L3 a L4 do 6,4 kHz

Dílčí závěr:

Ventilátor a jeho ložiska L3 a L4 jsou v provozuschopném stavu. Ložiska vykazují začínající známky nevývahy. Amplitudy ovšem dosahují nízkých hodnot.

4 Ověření správné funkčnosti online systému

Pro posouzení a ověření správného fungování online systém eFLINK, uvádím srovnání naměřených dat pomocí vibračního analyzátoru A4400 - VA4 Pro II a vyhodnocených dat z PLC obrazovky online systému.

Snímky z online systému byly pořízeny ve stejnou hodinu, v jakou proběhlo i pochůzkové měření.

4.1 Porovnání prvního měření

Na Obr. 54 můžeme vidět data vyhodnocené systémem eFLINK. Jelikož jsou snímače online systému aplikovány jen v horizontálním směru, porovnání pak odpovídá hodnotám vyznačených v tabulce 10.

Tabulka 10 - Naměřené hodnoty z 8.12.2017

Ložiska				
	L1	L2	L3	L4
Teplota [°C]	49.4	52.5	36.5	34.6
Vibrace				
ISO_1k	0.7	1.7	2.7	2.3
Nevyváha	0.3	1.4	2.1	1.8
Lopalková frekv.	0.1	0.4	0.4	0.7
PeakRaw [mg]	1131.2	394.2	816.1	629.7
RmsAccEnv [mg]	101.0	45.0	67.0	44.0
DilKHz [s]	1.3	0.4	1.1	0.3

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816	
	1. měření (RMS)
L1 H	1,14 mm/s
L1 V	0,567 mm/s
L1 A	1,38 mm/s
L2 H	1,8 mm/s
L2 V	0,669 mm/s
L2 A	1,01 mm/s
L3 H	Chyba měření
L4 H	Chyba měření

Obr. 54 - Hodnoty online systému ze dne 8.12.2017

Tabulka 11 - Porovnání hodnot rychlosti vibrací 1. měření (8.12.2017)

Ložisko	Hodnota ISO eFLINK	Hodnota ISO ADASH	Rozdíl v procentech
L1	0,7	1,14	39%
L2	1,7	1,8	6%
L3	2,7	Chyba měření	-
L4	2,3	Chyba měření	-

Dílčí závěr

Naměřené hodnoty z online systému a externího analyzátoru vykazují shodu. Maximální odchylka prvního měření je 39%.

4.2 Porovnání druhého měření

Na Obr. 55 můžeme vidět data vyhodnocené systémem eFLINK. Jelikož jsou snímače online systému aplikovány jen v horizontálním směru, porovnání pak odpovídá hodnotám vyznačených v tabulce 12.

Tabulka 12 - Naměřené hodnoty z 20.3.2018

Ložiska				
	L1	L2	L3	L4
Teplota [°C]	50.9	53.8	38.5	36.4
Vibration				
ISO_1k	0.9	1.5	2.7	2.4
Navyvaha	0.2	1.2	2.0	1.8
Lopatková frekv.	0.2	0.2	0.2	0.7
PeakRaw [mg]	1155.2	402.8	982.8	540.3
RmsAccEnv [mg]	102.0	66.0	70.0	43.0
DriftHf [-]	1.6	0.6	1.4	0.4

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816	
	2. měření (RMS)
L1 H	1,14 mm/s
L1 V	0,513 mm/s
L1 A	1,32 mm/s
L2 H	1,82 mm/s
L2 V	0,513 mm/s
L2 A	1,03 mm/s
L3 H	2,83 mm/s
L4 H	2,42 mm/s

Obr. 55 - Hodnoty online systému ze dne 20.3.2018

Tabulka 13 - Porovnání hodnot rychlosti vibrací 2. měření (20.3.2018)

Ložisko	Hodnota ISO eFLINK	Hodnota ISO ADASH	Rozdíl v procentech
L1	0,9	1,14	21%
L2	1,5	1,82	18%
L3	2,7	2,83	5%
L4	2,4	2,42	1%

Dílčí závěr

Naměřené hodnoty z online systému a externího analyzátoru vykazují shodu. Maximální odchylka druhého měření 21%.

4.3 Závěr porovnání metody online a pochůzky

Ventilátor je specifický typ strojního zařízení, které svým chodem neustále mění svoje vlastnosti. Jedná se o nepatrné změny provozu, zátěže a otáček, které zapříčiní kolísání aktuálně naměřených hodnot z online systému. V mém případě, se neobjevil žádný markantní rozdíl ve výsledných hodnotách, a to jak u prvního, tak i u druhého měření.

Přestože číselné hodnoty rozdílu těchto srovnávaných dat mohou vypadat různě a vykazovat větší odchylku od obou způsobů měření, o výsledném porovnání naměřených dat mohu prohlásit, že hodnoty vykazují relevantní shodu.

5 Závěr

Bakalářská práce se zabývá aplikací a ověřením správné funkčnosti online systému eFLINK na hlavním důlním ventilátoru dolu ČSA. Nejsilnějším argumentem využitelnosti je bezpochyby aktuálnost vyhodnocení naměřených dat. A to z hlediska zvýšení spolehlivosti, bezpečnosti, schopnosti včasného varování, ukládání trendů a komfortu služeb.

Prvotní online systémy upozorňovaly na výskyt poruchy. Systém eFLINK dnes již disponuje schopností určit druh a výskyt poruchy. Pomocí frekvenčních pásem a charakteristických hodnot nabízí náležitou analýzu vyhodnocení s větší vypovídací schopností pro dané měření. Jednak obsahuje více metod pro zjištění poškození stavu dílčích komponentů a na straně druhé poskytuje srozumitelné uživatelské prostředí pro nekvalifikovanou obsluhu.

Systém sám o sobě není schopný detailního rozboru vyhodnocení. V tomhle případě bude vždy zapotřebí i offline diagnostiky provedené specializovaným pracovníkem, který stanoví podrobné vyhodnocení daného stroje. Pokud ovšem víme, jak jsou nastaveny parametry systému a na jakém principu tyto parametry pracují, můžeme se daleko rychleji přiblížit k přesnější lokalizaci závady zařízení.

Podmínkou ovšem zůstává správné nastavení systému a jeho pravidelná kontrola včetně pochůzkového měření vibrací. Na základě tohoto ověření proběhly dvě nezávislé měření, které se v mém případě ukázaly jako relevantně shodné s daty online systému. Z tohoto důvodu mohu konstatovat, že chod eFLINKU nevykazuje hrubé chyby a jeho režim pracuje správně. Výsledná analýza měřeného stroje prokázala provozuschopný stav ventilátoru bez vážnějšího poškození.

Díky studiu dané problematiky jsem dospěla k úsudku, že budoucnost údržby nenápadně směřuje cestou kombinace online a offline diagnostiky. A to jak z pohledu snazší a rychlejší lokalizace výskytu závady, tak z pohledu bezproblémového chodu sledovaného zařízení, jež odráží skutečnost bezpečného provozu především v situaci ohrožení lidského života.

6 Seznam použité literatury

- [1] KREIDL, Marcel a Radislav ŠMÍD. *Technická diagnostika: senzory, metody, analýza signálu*. Praha: BEN - technická literatura, 2006. ISBN 80-7300-158-6.
- [2] JANUROVÁ, Eva. Studijní texty FYZIKA II. *Homel.vsb.cz* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2016 [cit. 2017-11-2]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~jan85/fs/fyzika_2/studijn%C3%AD%20text_F%20II_FS.pdf
- [3] KONEČNÝ, Daniel. Aplikace diagnostického systému Octavis Efector: Diplomová práce. *Dspace.vsb.cz* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2011 [cit. 2017-11-29]. Dostupné z: https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/88165/KON492_FS_N2301_3909T001_72_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [4] SMETANA, Ctirad. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s., ISBN 80-901936-2-5.
- [5] STODOLA, Jiří. *Vibrace a jejich využití v technické diagnostice strojů*. Brno : VA Brno, 2003. 43 s. ISBN 80-85960-64-8.
- [6] VDOLEČEK, František. Spolehlivost a technická diagnostika. *Autnt.fme.vutbr.cz* [online]. Brno: VUT, 2002 [cit. 2018-12-11]. Dostupné z: <http://autnt.fme.vutbr.cz/lab/a1-731a/FSD.pdf>
- [7] HELEBRANT, František. *Technická diagnostika a spolehlivost*. IV, Provoz a údržba strojů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1690-6.
- [8] *Www.dif.cz* [online]. [cit. 2018-12-28]. Dostupné z: <http://www.dif.cz/sluzby/online-systemy/>
- [9] *Adash.com* [online]. [cit. 2018-01-19]. Dostupné z: <https://adash.com/cs/vibracni-diagnostika/co-mam-merit/>
- [10] HELEBRANT, František a Jiří ZIEGLER. *Technická diagnostika a spolehlivost*. II, Vibrodiagnostika. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0650-9.

- [11] WEIGL, MARTIN. Měření vibrací. *Www.vutbr.cz* [online]. Brno: VUT, 2011 [cit. 2018-01-25]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=41669
- [12] BLATA, Jan a Janusz JURASZEK. *Metody technické diagnostiky: teorie a praxe*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-2997-5.
- [13] *Www.br-automation.com* [online]. [cit. 2018-02-25]. Dostupné z:
http://www.br-automation.com/downloads_br_productcatalogue/BRP44400000000000000529926/0ACS100A.00-1-ENG_V1.06.pdf
- [14] ŽIVOTSKÝ, Petr. Chybové frekvence ložisek: Diplomová práce. *Www.vutbr.cz* [online]. Brno: VUT, 2008 [cit. 2018-02-28]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=6694
- [15] BERRY, J.E.: Ověřená metoda specifikace poplachových úrovní pro spektrální pásma. Český překlad SKF Ložiska, a.s. Praha 1990
- [16] ČSN ISO 10816-1 (011412). Vibrace : Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech - Část 1: Všeobecné směrnice. [s.l.] : © Český normalizační institut, 1995-12-15. 24 s.
- [17] Podklady firmy DIF, spol. s r. o., B&R . *X20 system: Uživatelský manuál* [online]. 2015 [cit. 2018-01-30].
- [18] KEETON, Grady. What is crest factor and why is it important?.
Www.programmablepower.com [online]. 2015 [cit. 2018-03-26]. Dostupné z:
<http://www.programmablepower.com/blog/what-is-crest-factor-and-why-is-it-important/>
- [19] Podklady firmy DIF, spol. s r. o.
- [20] Odporová čidla Pt100, Pt500, Pt1000. *Www.hth8.cz* [online]. [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.hth8.cz/cs/71-teplotni-cidla/73-odporova-cidla-pt100-pt1000-/>

7 Seznam příloh

Příloha 1 - Záznam měření – Vyhodnocení vibrací důlního ventilátoru č.1 na ČSA

(datový nosič CD)



Záznam měření

Objednatel:

Zakázka č.:

**Měřicí
zařízení:**

ADASH VA4 PRO

S/N 627783

Akcelerometr

Kabely

**Druh měření,
popis stroje:**

Vyhodnocení vibrací důlního ventilátoru č.1 na ČSA

Datum:

Měření: 08.12. 2017

Měření: 20.3.2018

Měřila:

Nováková Eliška

Shrnutí:

VEL (RMS)

Na L2 v horizontálním směru byla druhým měřením zaznamenána největší celková hodnota o velikosti 1,82 mm/s. U ventilátoru to jsou pak vyšší hodnoty a to 2,83 mm/s na L3 a 2,42 mm/s na L4. Podle normy ISO 10816 leží tyto hodnoty v kategorii B – provozuschopný stav.

Ve spektrech je patrná dominantní otáčková frekvence 8,25 Hz a její trojnásobek, amplitudy do 2mm/s. Jedná se o nevyváženost, amplitudy však dosahují nižších hodnot.

ACC (0-p)

Ve spektrech vibrací ACC do 6,4 kHz nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek, celkově nízké hodnoty. Nejvyšší celková hodnota zjištěna prvním měřením na L1 v horizontálním směru o velikosti 2,48 g. Podle druhého měření se hodnota více jak dvojnásobně snížila. Všechny měřené hodnoty spadají pod kategorii „vyhovující“.

EN3 (p-p)

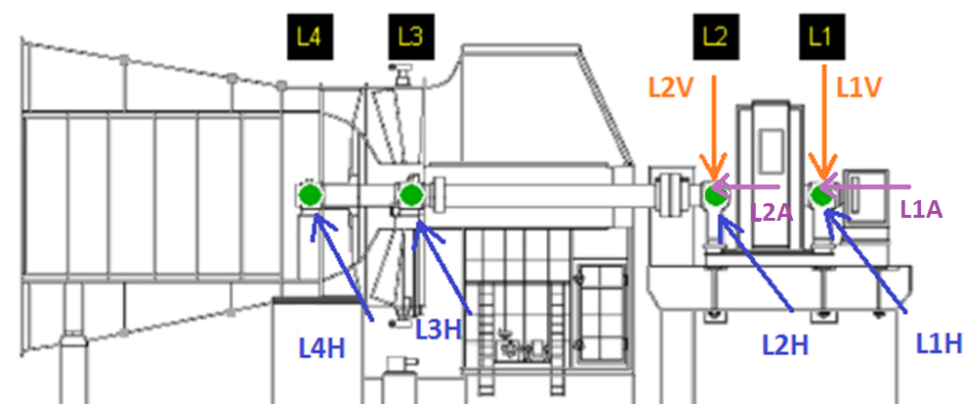
Ve spektrech vibrací EN3 do 6,4 kHz nebyly detekovány poruchové frekvence ložisek, mírně zvýšená hladina šumu na L1. Celkové hodnoty ENV jsou dle doporučení SKF vyhovující. Nejvyšší amplitudu vykazuje z prvního měření L1 v horizontálním směru o celkové hodnotě 1,86 g - přesah meze prvního alarmu.

Doporučení:

PROVOZ

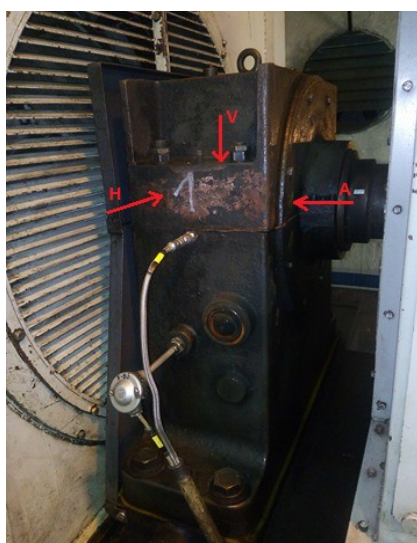
Základní údaje:

Schéma :



Obr. 1 Schéma měřicích bodů na ložiscích.

Fotografie měřicích míst pro motor s vyznačením měřicích bodů:



Obr. 2 Ložisko L1 motoru



Obr. 3 Ložisko L2 motoru

Motor:

Typ motoru: asynchronní ČKD 3B 325-12H

Výkon: 3 200 kW

Otáčky: 495 ot/min = 8,25 Hz

Ventilátor:

Otáčky ventilátoru: 495 ot/min = 8,25 Hz

Počet lopatek: 19

Frekvence průchodu lopatek = $8,25 \cdot 19 = 156,75$ Hz

Frekvence ložisek:

Tabulka 14 - Typy ložisek soustrojí

Ložisko	Typ
Ložisko č.1-motor-rad.	22256 K C3
Ložisko č.2-motor-rad.	22256 K C3
Ložisko č.3-ventilátor-ax.	29252 D
Ložisko č.3-ventilátor-rad.	23052 BC3
Ložisko č.4-ventilátor-rad.	23052 BC3

Tabulka 2 - Poruchové frekvence ložisek

L1 - rad - MOTOR 22256 K C3		L2 - rad - MOTOR 22256 K C3		L3 - ax - MOTOR 29252 D		L3 - rad - VEN 23052 BC3		L4 - rad - VEN 23052 BC3	
	Hz		Hz		Hz		Hz		Hz
FTF	3,57	FTF	3,57	FTF	3,89	FTF	3,73	FTF	3,73
BSF	28,08	BSF	28,08	BSF	61,58	BSF	39,50	BSF	39,50
BPFO	71,42	BPFO	71,42	BPFO	151,67	BPFO	93,33	BPFO	93,33
BPFI	95,00	BPFI	95,00	BPFI	173,33	BPFI	115,00	BPFI	115,00

FTF - Poruchová frekvence klece

BSF - Poruchová frekvence valivého tělíska

BPFO - Poruchová frekvence vnějšího kroužku

BPFI - Poruchová frekvence vnitřního kroužku

Srovnání naměřených dat s online daty:

Ložiska		L1	L2	L3	L4
Teplota [°C]		49.4	52.5	36.5	34.6
Vibrace					
ISO_1k	<input type="checkbox"/>	0.7	1.7	2.7	2.3
Nevyváha	<input type="checkbox"/>	0.3	1.4	2.1	1.8
Lopatková frekv.	<input type="checkbox"/>	0.1	0.4	0.4	0.7
PeakRaw [mg]	<input type="checkbox"/>	1131.2	394.2	816.1	629.7
RmsAccEnv [mg]	<input type="checkbox"/>	101.0	45.0	67.0	44.0
Diff-Hf [s]	<input type="checkbox"/>	1.3	0.4	1.1	0.3
	<input type="checkbox"/>				
	<input type="checkbox"/>				

Ložiska		L1	L2	L3	L4
Teplota [°C]		50.9	53.8	38.5	36.4
Vibrace					
ISO_1k	<input type="checkbox"/>	0.9	1.5	2.7	2.4
Nevyváha	<input type="checkbox"/>	0.2	1.2	2.0	1.8
Lopatková frekv.	<input type="checkbox"/>	0.2	0.2	0.2	0.7
PeakRaw [mg]	<input type="checkbox"/>	1155.2	402.8	982.8	540.3
RmsAccEnv [mg]	<input type="checkbox"/>	102.0	66.0	70.9	43.0
Diff-Hf [s]	<input type="checkbox"/>	1.6	0.6	1.4	0.4
	<input type="checkbox"/>				
	<input type="checkbox"/>				

Ložisko	Hodnota ISO eFLINK	Hodnota ISO ADASH	Rozdíl v procentech
L1	0,7	1,14	39%
L2	1,7	1,8	6%
L3	2,7	Chyba měření	-
L4	2,3	Chyba měření	-

Ložisko	Hodnota ISO eFLINK	Hodnota ISO ADASH	Rozdíl v procentech
L1	0,9	1,14	21%
L2	1,5	1,82	18%
L3	2,7	2,83	5%
L4	2,4	2,42	1%

Naměřené hodnoty z online systému eflink a externího analyzátoru ADASH VA4 PRO vykazují shodu naměřených dat. Maximální odchylka prvního měření je 39%, druhého měření 21%.

Vyhodnocení měření:

Motor:

➤ Rychlosti vibrací:

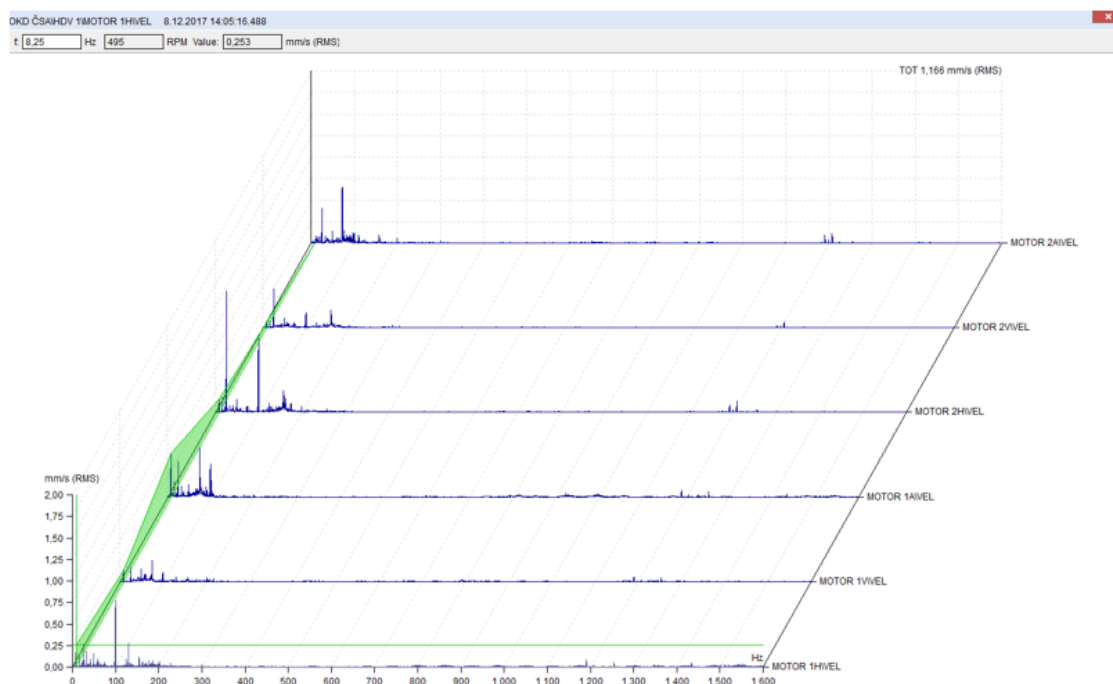
VIBRATION SEVERITY PER ISO 10816					
Machine		Class I small machines	Class II medium machines	Class III large rigid foundation	Class IV large soft foundation
	in/s	mm/s			
Vibration Velocity Vrms	0.01	0.28			
	0.02	0.45			
	0.03	0.71		good	
	0.04	1.12			
	0.07	1.80			
	0.11	2.80		satisfactory	
	0.18	4.50			
	0.28	7.10		unsatisfactory	
	0.44	11.2			
	0.70	18.0			
	0.71	28.0		unacceptable	
	1.10	45.0			

Tabulka 3- Celkové hodnoty rychlosti vibrací

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816		
	1. měření (RMS)	2. měření (RMS)
L1 H	1,14 mm/s	1,14 mm/s
L1 V	0,567 mm/s	0,513 mm/s
L1 A	1,38 mm/s	1,32 mm/s
L2 H	1,8 mm/s	1,82 mm/s
L2 V	0,669 mm/s	0,513 mm/s
L2 A	1,01 mm/s	1,03 mm/s

Obr. 4 - Vyhodnocení rychlosti vibrací dle normy ISO 10816

1. měření 8.12.2017

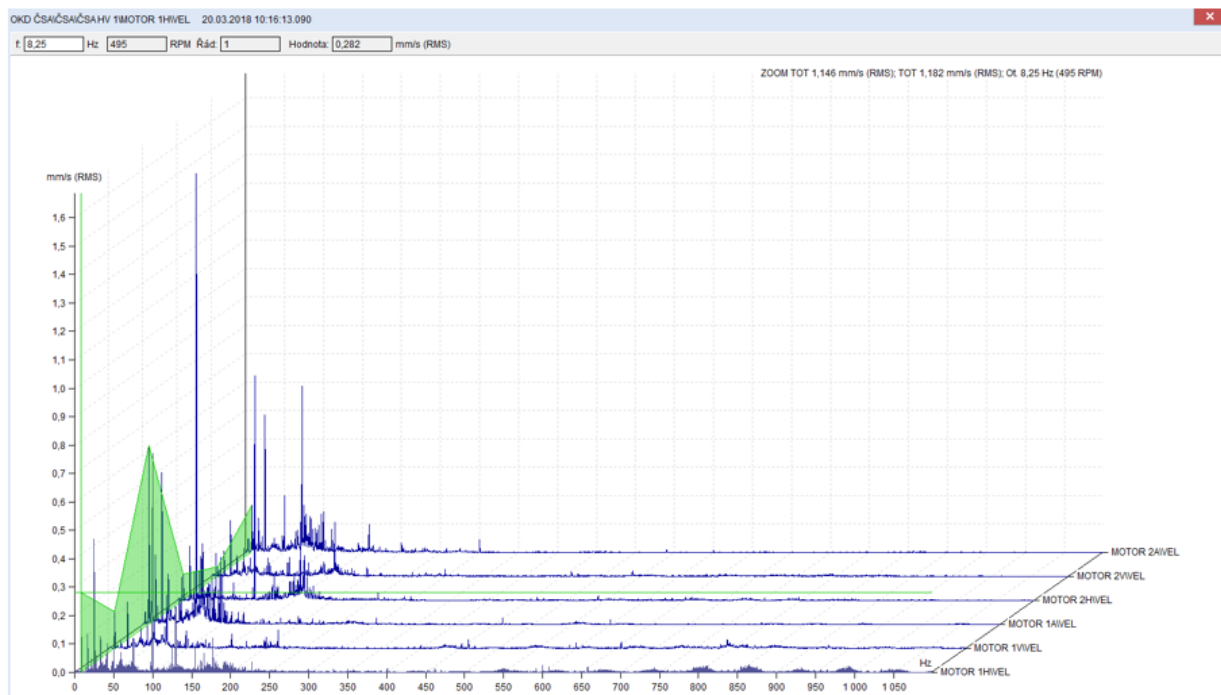


Obr. 5 - Kaskáda spekter vibrací VEL do 1,6 kHz, svislá osa do 2 mm/s. Patrná otáčková frekvence 8,25 Hz a její harmonické násobky – vůle uvolnění. Patrná frekvence průchodu lopatek 158 Hz.

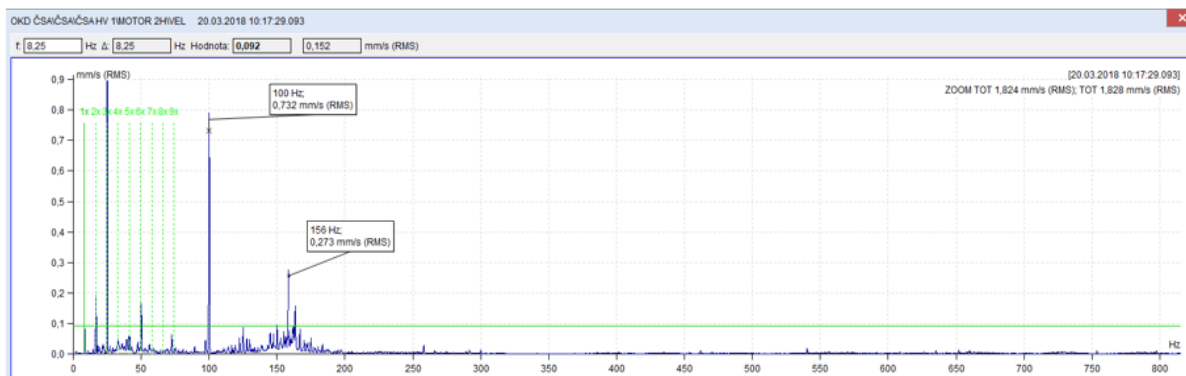


Obr. 6 - VEL 2H Spektrum vibrací do 300 Hz, svislá osa do 2 mm/s. Patrná otáčková frekvence 8,25 Hz a její harmonické násobky. Nejvyšší je trojnásobek otáčkové frekvence s amplitudou 1,4 mm/s. Patrná též frekvence průchodu lopatek 158 Hz. Frekvence 100 Hz = předpokládaný přenos z elektrické sítě.

2. měření 20.3.2018



Obr. 7 - Kaskáda spekter vibrací VEL do 1,05 kHz, svislá osa do 1,6 mm/s. Patrná otáčková frekvence 8,25 Hz a její harmonické násobky – vůle uvolnění. M2 v horizontálním směru vykazuje nejvyšší amplitudu 1,46 mm/s na třetí otáčkové frekvenci 25 Hz. Patrná frekvence průchodu lopatek Hz, její největší amplituda 0,28 mm/s opět na M2 v horizontálu.



Obr. 8 - VEL 2H Spektrum vibrací do 800 Hz, svislá osa do 0,9 mm/s. Patrná otáčková frekvence 8,25 Hz a její harmonické násobky. Nejvyšší je trojnásobek otáčkové frekvence s amplitudou 1,54 mm/s. Patrná též frekvence průchodu lopatek 156 Hz. Frekvence 100 Hz = předpokládaný přenos z elektrické sítě.

➤ Zrychlení vibrací:

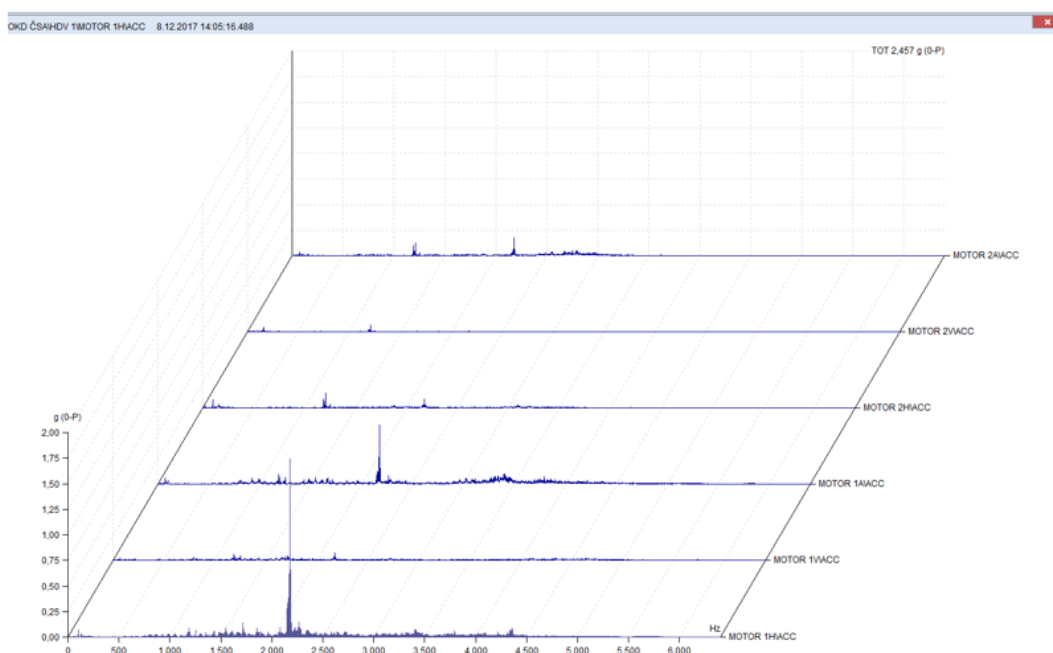
Tabulka 4 - Alarmové hodnoty zrychlení vibrací

Rozhraní pásem	Alarmové hodnoty zrychlení vibrací [g] (0-P)
A/B	0,5 g
B/C	2,5 g
C/D	3,75 g

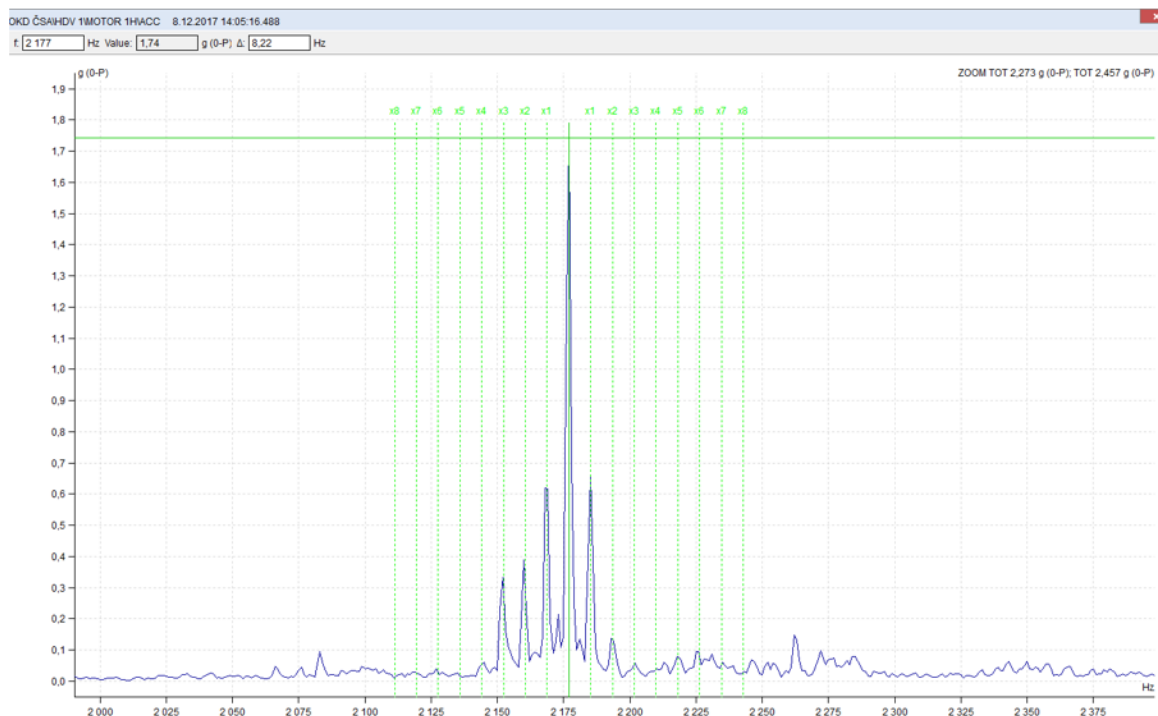
Tabulka 5 - Celkové hodnoty zrychlení vibrací

Vyhodnocení ACC dle doporučených hodnot		
	1. měření (0-p)	2.měření (0-p)
L1 H	2,48 g	0,888 g
L1 V	0,344 g	0,923 g
L1 A	1,2 g	0,432 g
L2 H	0,343 g	0,261 g
L2 V	0,116 g	0,202 g
L2 A	0,469 g	0,157 g

1. měření 8.12.2017

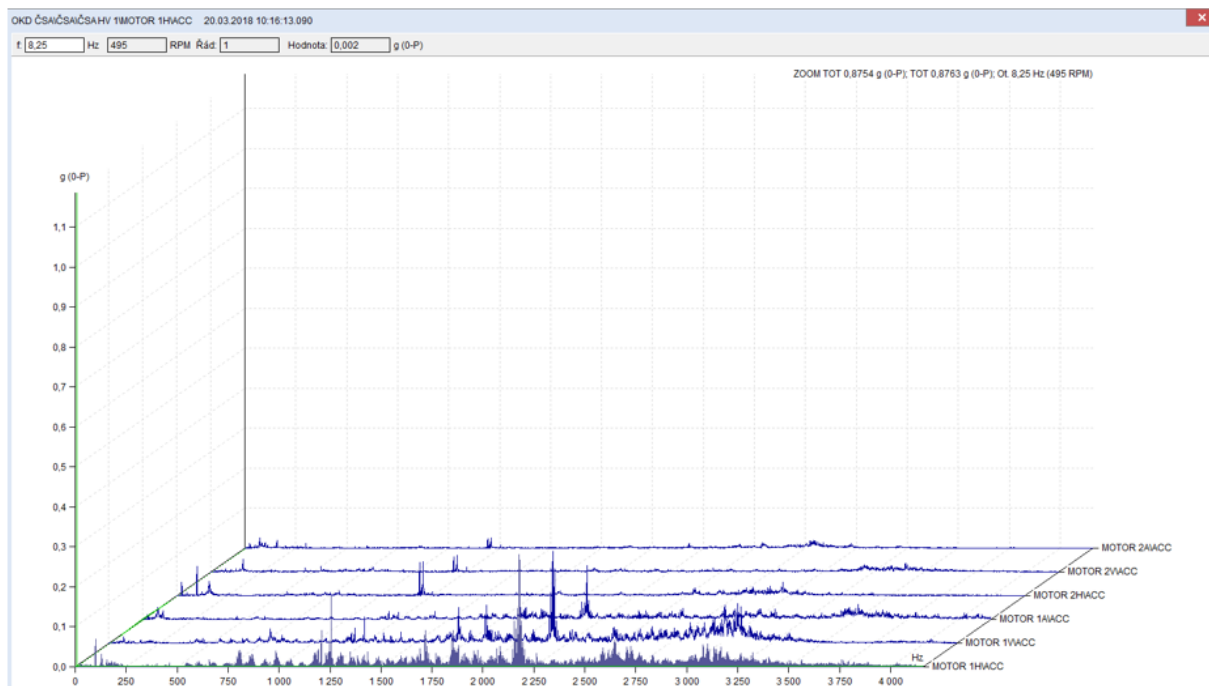


Obr. 9 - Kaskáda spekter vibrací ACC do 6,4 kHz, svislá osa do 2 g (0-P).

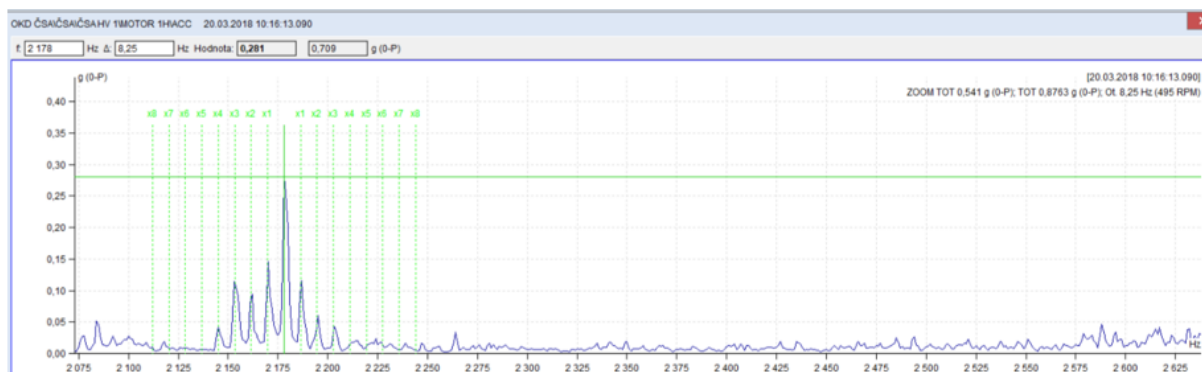


Obr. 10 - ACC 1H ZOOM spektrum vibrací. Kolem frekvence 2177 Hz – neidentifikováno, patrná postranní pásma o vzdálenosti 8,22 Hz = otáčková frekvence.

2. Měření 20.3.2018

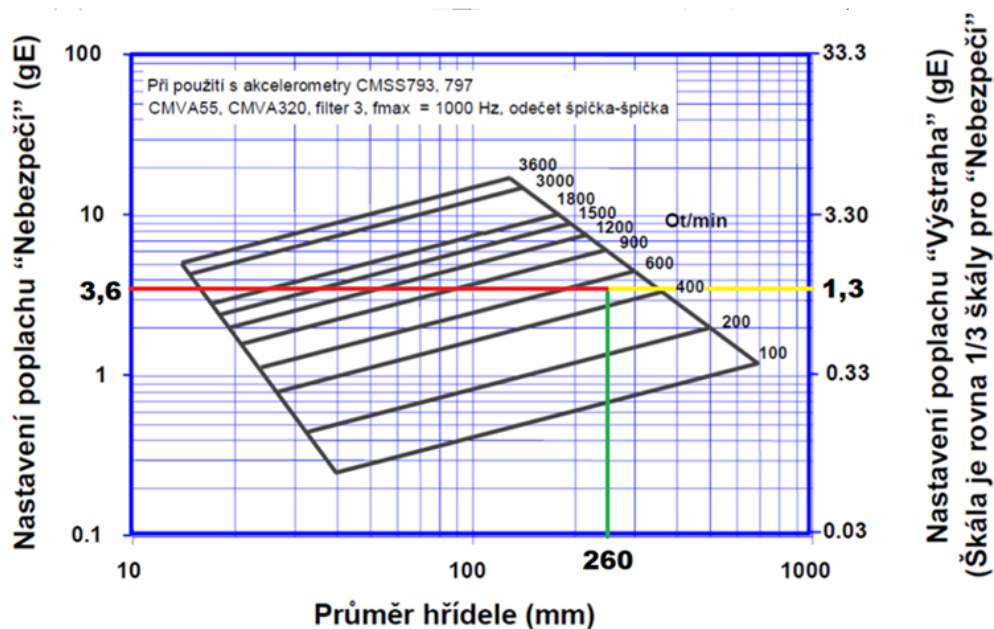


Obr. 11 - Kaskáda spekter vibrací ACC do 4 kHz, svislá osa do 1,1 g (0-P).



Obr. 12 - ACC 1H ZOOM spektrum vibrací. Kolem frekvence 2178 Hz – neidentifikováno, patrná postranní pásma o vzdálenosti 8,25 Hz = otáčková frekvence.

➤ Obálka zrychlení:

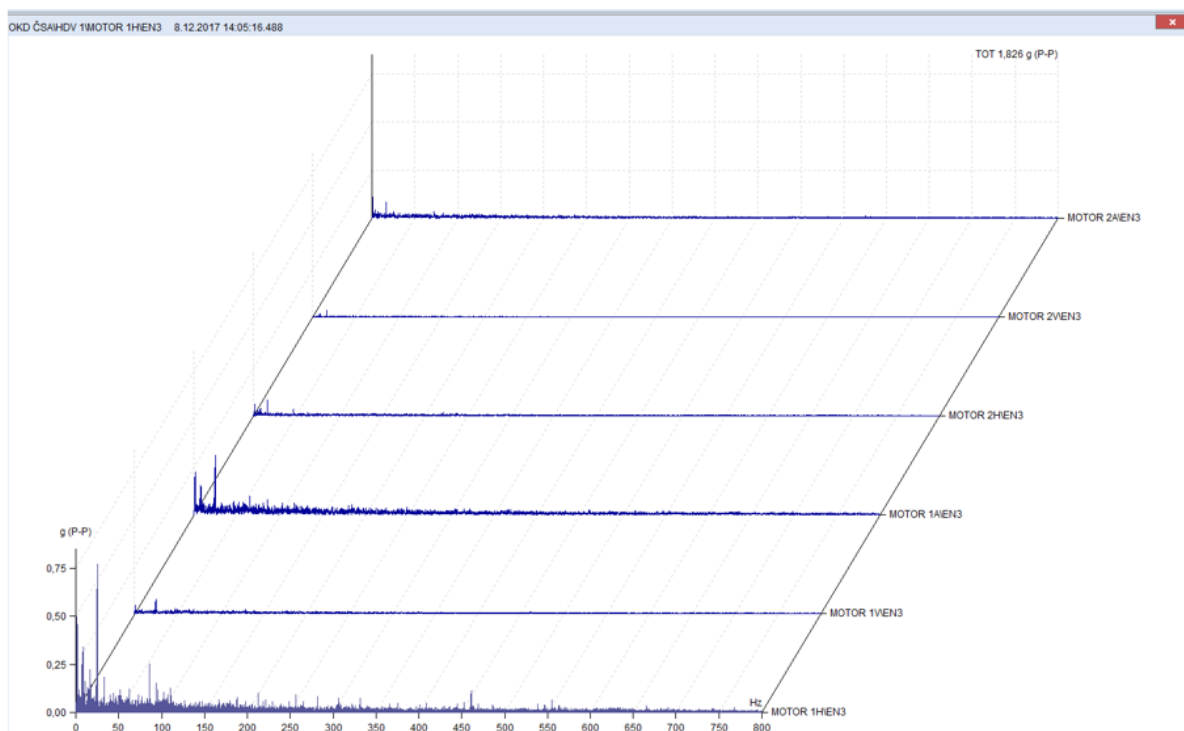


Obr. 13 - Vyhodnocení obálky zrychlení vibrací s filtrem 3 dle doporučení SKF
Průměr hřídele 260 mm.

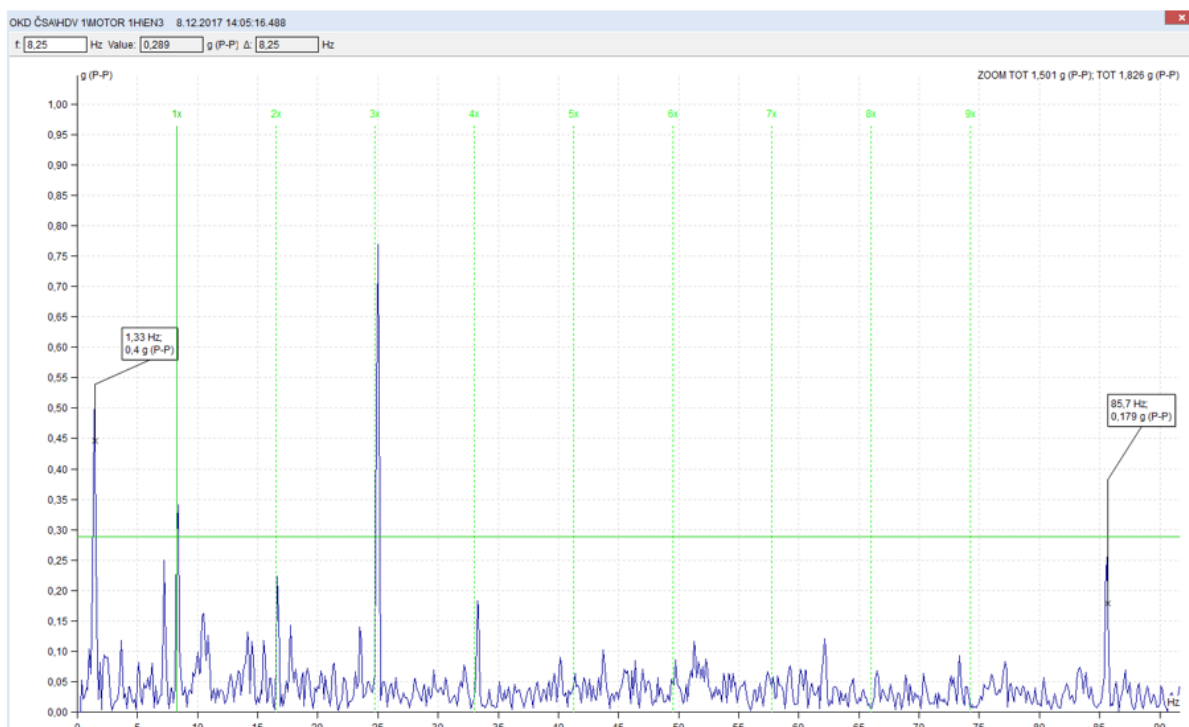
Tabulka 6 - Celkové hodnoty obálky zrychlení vibrací

Vyhodnocení ENV dle doporučení SKF		
	1.měření (p-p)	2.měření (p-p)
L1 H	1,826 g	0,688 g
L1 V	0,298 g	0,751 g
L1 A	1,041 g	0,352 g
L2 H	0,27 g	0,23 g
L2 V	0,08 g	0,193 g
L2 A	0,416 g	0,12 g

1. Měření 8.12.2017

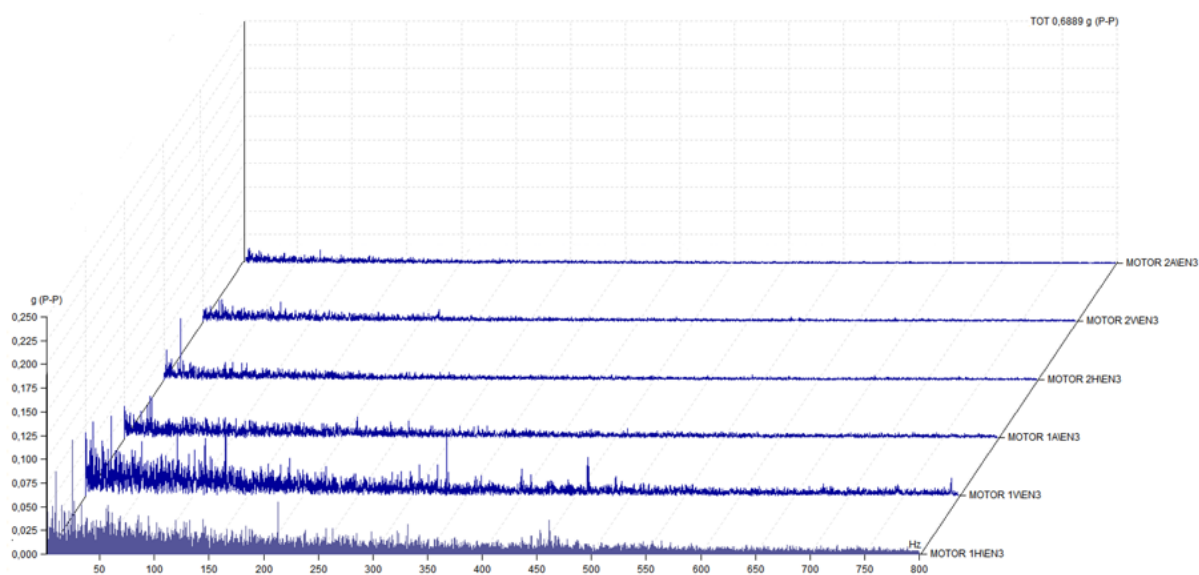


Obr. 14 - Kaskáda spekter vibrací EN3 do 800 Hz, svislá osa do 0,8 g (p-p). Mírně zvýšená hladina šumu na L1 H a L1 A – nedostatečné mazání.

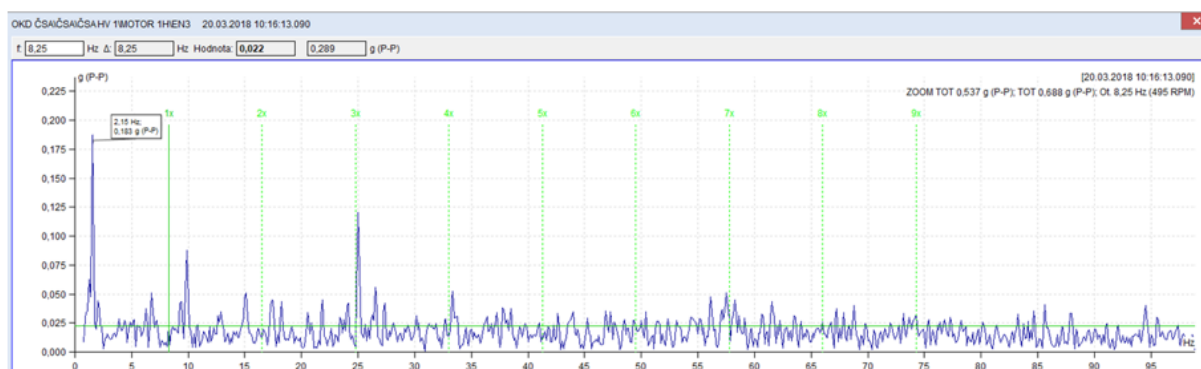


Obr. 15 - ZOOM spektra vibrací EN3 1H, svislá osa do 1 g (p-p). Přítomna otáčková frekvence 8,25 Hz a její násobky. Největší amplituda je na trojnásobku 0,77 g, patrný i desetinásobek otáčkové frekvence 0,26 g. Frekvence 1,33 Hz – neidentifikována.

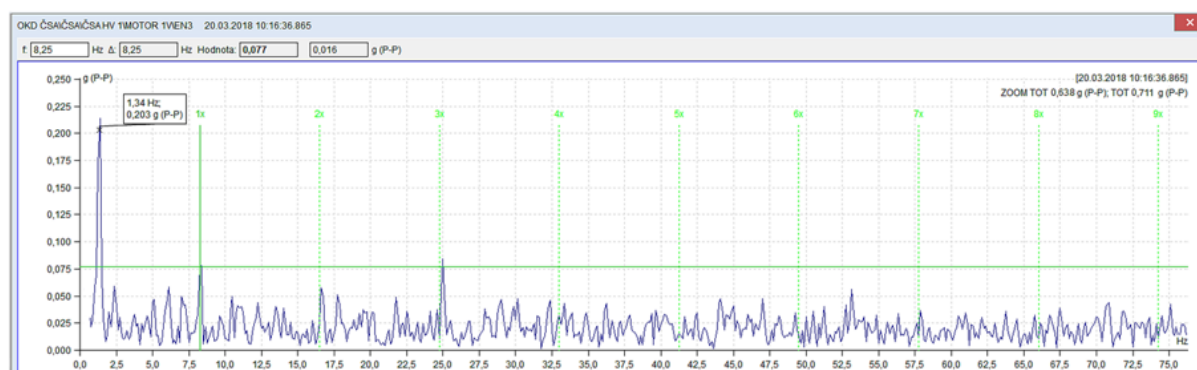
2. Měření 20.3.2018



Obr. 16 - Kaskáda spekter vibrací EN3 do 800 Hz, svislá osa do 0,250 g (p-p). Hladina šumu na L1 H a L1 V výrazně menší oproti prvnímu měření – pravděpodobně domazaní ložiska L1.



Obr. 17 - ZOOM spektra vibrací EN3 1H, svislá osa do 0,225 g (p-p). Patrný trojnásobek otáčkové frekvence. Největší amplituda 0,183 g na frekvenci 2,15 Hz - neidentifikována.



Obr. 18 - ZOOM spektra vibrací EN3 1V, svislá osa do 0,250 g (p-p). Přítomna otáčková frekvence 8,25 Hz a její násobky. Největší amplituda 0,203 g na frekvenci 1,34 Hz - neidentifikována.

Ventilátor

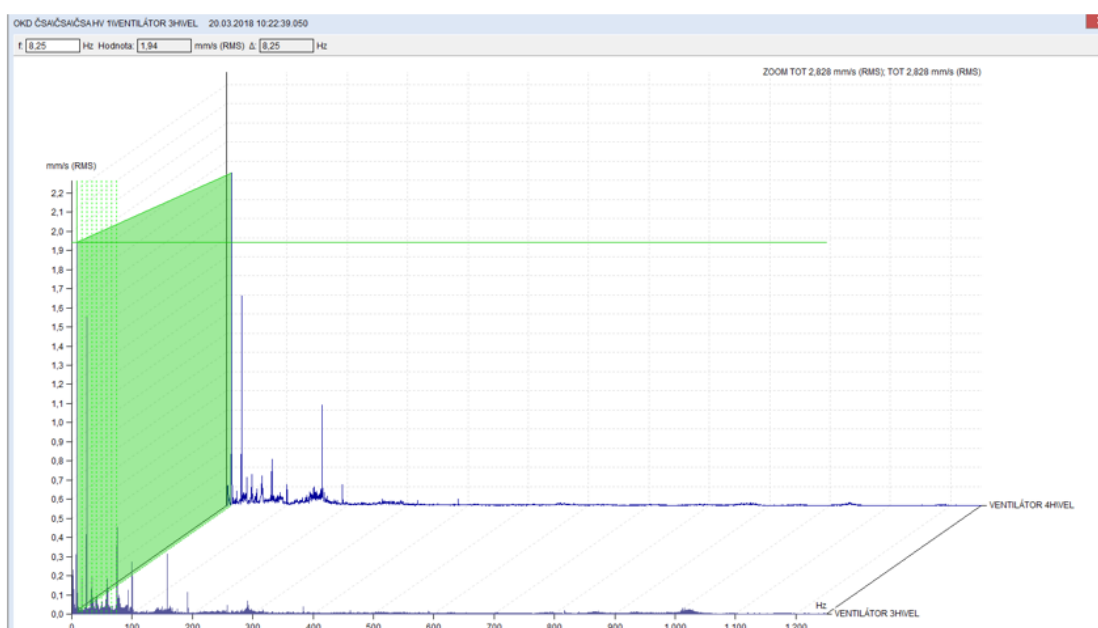
První měření dne 8.12.2017 ložisek ventilátoru L3 a L4 bylo ovlivněno chybou měření a jeho výsledky proto nejsou použitelné.

➤ Rychlosti vibrací:

Tabulka 7 - Celkové hodnoty rychlosti vibrací

Vyhodnocení VEL dle normy ISO 10 816		
	1. měření (RMS)	2. měření (RMS)
L3 H	Chyba měření	2,83 mm/s
L4 H	Chyba měření	2,24 mm/s

2. měření 20.3.2018

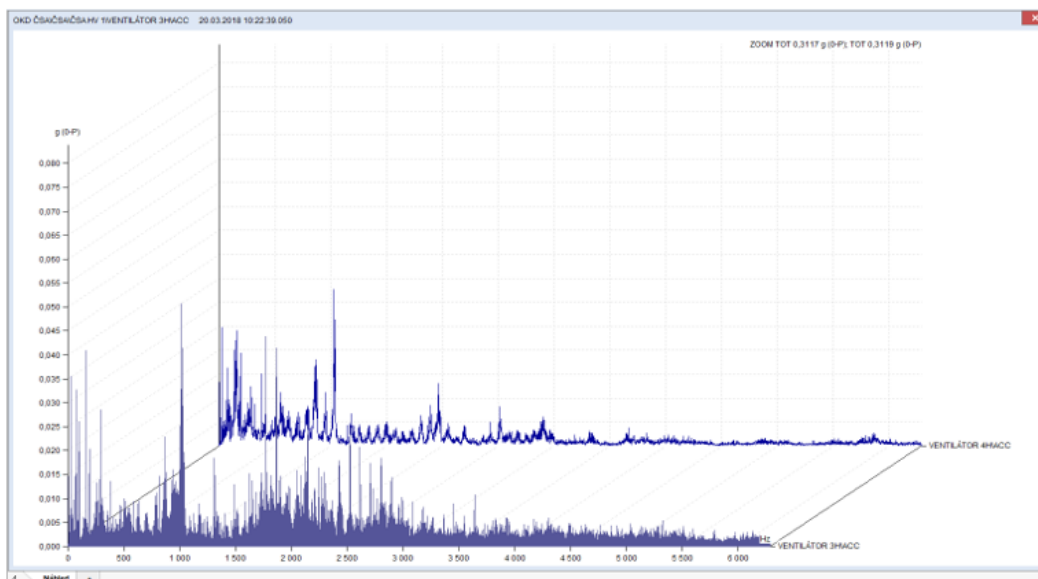


Obr. 19 - Kaskáda spekter vibrací VEL do 1,2 kHz, svislá osa do 2,2 mm/s. U obou ložisek vysoká otáčková frekvence 8,25 Hz. Velikost této amplitudy u L3 H = 1,95 mm/s a u L4 H = 1,74 mm/s. Patrné násobky otáčkové frekvence - vůle uvolnění, zejména pak třetí násobek. Patrná frekvence průchodu lopatek 156 Hz, L4 H = 0,5 mm/s.

➤ Zrychlení vibrací:

Tabulka 8 – Celkové hodnoty zrychlení vibrací

Vyhodnocení ACC dle doporučených hodnot		
	1. měření (0-p)	2. měření (0-p)
L3 H	Chyba měření	0,305 g
L4 H	Chyba měření	0,187 g

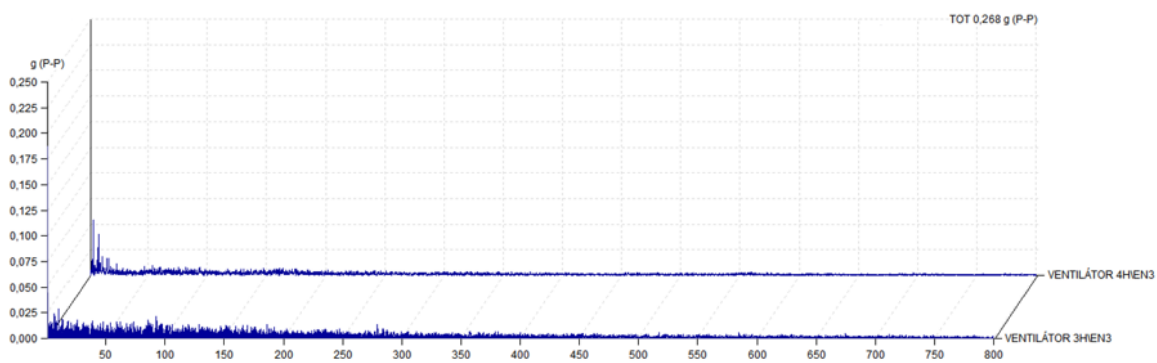


Obr. 20 - Kaskáda spekter vibrací ACC do 6,4 kHz, svislá osa do 0,08 g (0-P).

➤ **Obálka zrychlení:**

Tabulka 9 - Celkové hodnoty obálky zrychlení vibrací

Vyhodnocení ENV dle doporučení SKF		
	1. měření (p-p)	2. měření (p-p)
L3 H	Chyba měření	0,268 g
L4 H	Chyba měření	0,151 g



Obr. 21 - Kaskáda spekter vibrací EN3 do 800 Hz, svislá osa do 0,250 g (p-p). První tři násobky L4 H vykazují začínající známky nevývahy, hodnoty jsou však i přes to velmi malé.